Dielektrisches

Beeinflussung durch das el
Eigenschaften · Prüfung ·

Von

Dr.-Ing. A. Bültem
Dresden

Mit 17 Textabbildunge



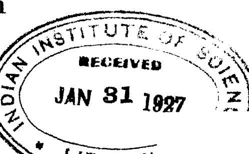
Berlin
Verlag von Julius S
1926

Dielektrisches Material

Beeinflussung durch das elektrische Feld
Eigenschaften · Prüfung · Herstellung

Von

Dr.-Ing. A. Bültemann
Dresden



Mit 17 Textabbildungen



Berlin
Verlag von Julius Springer
1926

Vorwort.

Beschreibungen von Herstellungsverfahren sind deshalb schwierig, weil sie nicht so lückenlos möglich sind, als wenn über Messungen berichtet wird. Eine selbst bis in die kleinsten Einzelheiten wiedergegebene Fabrikation ist nur in den seltensten Fällen ohne weiteres reproduzierbar, wenn es sich dabei um chemische Vorgänge handelt. Im besonderen kommt dieser Fall bei der gewerbsmäßigen Anfertigung elektrischer Isolierstoffe in Betracht.

Daß die Verhältnisse auf dem Gebiete der Dielektrika ungünstig liegen, ist allgemein anerkannt. A. Günther-Schulze spricht dies im Vorwort seines Buches: „Über die dielektrische Festigkeit" 1924 bei Kösel & Pustet in München erschienen, aus, daß hier die Erforschung nicht annähernd in dem Maße fortgeschritten ist wie auf den anderen Gebieten der Elektrotechnik, und gibt als Grund dafür an, daß es kaum ein zweites Problem gibt, auf dem sich dem exakten Versuch derartig große und schwer zu überwindende Widerstände entgegenstellen.

Dieselbe Ansicht vertritt der langjährige Vorsitzende der Kommission für Isolierstoffe des Verbandes Deutscher Elektrotechniker E. Orlich auch und bemängelt in El. Be. 1923, S. 182, daß in den Kreisen der ernsten Fachleute noch immer nicht die grundlegende Wichtigkeit des ganzen Gebietes richtig bewertet wird. Nur durch die Mitarbeit zahlreicher Hilfskräfte und engste Zusammenarbeit von Wissenschaft und Praxis können die großen Aufgaben gelöst werden, die uns hier entscheidend vorwärtsbringen.

Bücher, welche die Fabrikation elektrischer Nichtleiter behandeln, gibt es kaum. Wer die vorliegende Schrift liest, wird feststellen, daß sich durch alle Seiten die Hauptfrage hindurchzieht, wie der Gehalt des Isolierstoffs an Wasser und Luft, den Körpern mit den am weitesten auseinanderliegenden Dielektrizitätskonstanten, die Eigenschaften des Nichtleiters im elektrischen Felde beeinflußt, und wie man auf Grund der bisher vorliegenden Forschungen und Erfahrungen vorzugehen hat, um ungünstige Wirkungen auszuschalten.

Während im allgemeinen infolge der großen stofflichen Verschiedenartigkeit der elektrischen Isoliermaterialien jeder Isoliertechniker sich vorzugsweise mit seinem eigenen Gebiet beschäftigt, ist hier versucht, alle Dielektrika vom gasförmigen über den flüssigen und plastischen bis zum festen daraufhin anzusehen, wie ihre chemische und physikalische Natur beschaffen ist, und was für Möglichkeiten es gibt, Erzeugnisse erhöhter elektrischer Festigkeit aus ihnen herzustellen. Dabei

ergibt sich ein Vorteil. Nämlich bei den wesensverschiedenen Nichtleitern treten die Erscheinungen, welche mit den dielektrischen Eigenschaften zusammenhängen, auch entsprechend verschieden stark oder schwach hervor. Infolgedessen entdeckt man Vorgänge, welche bei der Behandlung nur eines Isolierstoffes vielleicht noch längere Zeit unbemerkt geblieben wären.

Es gehört ein gewisser Mut dazu, sich unter den vorliegenden Verhältnissen in einem Buch mit der Fabrikation elektrischer Isolierstoffe zu befassen. Aber es deshalb überhaupt nicht zu wagen, an diese Aufgabe heranzugehen, wurde als durchaus falsch angesehen, weil die Elektrotechnik gebieterisch nach hochwertigen Nichtleitern verlangt. Außerdem werden sicher Fachleute auftreten, die sich mit den vielen Mängeln dieser Schrift befassen, so daß die Behandlung des Stoffes rühriger wird. Ein Vorteil von großer Bedeutung.

Sollte es später zu einer Neubearbeitung kommen, so wird dies hoffentlich zu einer besseren Darstellung führen. Auch die Bemühungen, für weitere namhafte Gruppen von Isolierstoffen Prüfungsvorschriften durch den VDE zu schaffen, sind zur Zeit noch in der Schwebe.

In dem vorliegenden Buch sind keine Rezepte gegeben. Vielmehr ist die Frage, wie man eine elektrische Festigkeit bei den mannigfaltigen Arten der Nichtleiter erreichen kann, generell behandelt, und es wurde der Nachweis versucht, daß überall trotz größter Unterschiede im chemischen Aufbau des Materials die Befolgung bestimmter Richtlinien zum Ziele führt. Die jeweiligen Maßnahmen hängen von den Ausgangsstoffen ab, sind also stark voneinander abweichend.

Die elektrischen Faserstoffe wurden im Hinblick ihres technischen und wirtschaftlichen Wertes besonders eingehend behandelt, auch deshalb, weil die Kommission für Isolierstoffe des VDE sich zur Zeit mit der Aufstellung von Prüfungsvorschriften beschäftigt, welche eine Unterkommission unter dem Vorsitz des Verfassers bearbeitet. Die hier gemachten Ausführungen können als Grundlage einer weiteren Erörterung dienen und werden diesen Zweck hoffentlich auch erfüllen.

Die Anforderungen an die Isolierstoffe steigern sich unaufhörlich. Man verlangt lebhaft nach Nichtleitern, welche den Höchstspannungen gewachsen sind. Die Schwierigkeiten, welche sich einer rationellen Fabrikation entgegenstellen, sind noch sehr groß, es ist aber die Annahme berechtigt, daß sich durch eine symbiotische Zusammenarbeit ein beschleunigter Schritt herbeiführen läßt.

Dresden, im Juni 1926.

Bültemann.

Inhaltsverzeichnis.

I. Einleitung.

Die Entstehung dieses Buches hat folgenden Grund. Immer wieder gibt es technisch und nichttechnisch gebildete Leute, welche ohne genügende Spezialkenntnisse von alle dem, was bereits über elektrische Isolierstoffe vorliegt, sich mit der Herstellung dieser wichtigen Baustoffe der Elektrotechnik befassen.

Die Folge davon ist, daß — abgesehen von finanziellen Fehlschlägen der Unternehmer — alle möglichen Industrieerzeugnisse auf den Markt gelangen, welche sich nachher als minderwertig herausstellen, im Fall einer Verarbeitung Störungen in der Stromversorgung verursachen und die Verwendung der Elektrizität als einer unzuverlässigen Energieform in schlechten Ruf bringen.

Auf diese Verhältnisse ist schon mehrfach von zuständigen Fachleuten hingewiesen worden. Es scheint aber wenig genützt zu haben. Vielleicht hat es deshalb mehr Erfolg, wenn in allgemeinverständlicher Weise und in einer nicht zu breiten Form über dieses Gebiet zusammenfassend berichtet wird.

Damit diejenigen Interessenten, welche Einzelheiten zu wissen wünschen, bequem dazu Gelegenheit finden, wurde die vorhandene Literatur am Schluß des Buches namhaft gemacht.

Im übrigen ist versucht, Richtungen und Wege anzugeben, wie der Lösung dringlich gewordener Fragen bei der Fabrikation der jetzt in den Vordergrund tretenden Hoch- und Höchstspannungsisolierstoffe näherzukommen ist.

II. Messungen an elektrischen Isolierstoffen.

Über elektrische Isolierstoffe besitzen wir in neuester Zeit mehrere sehr gute zusammenfassende Darstellungen. Diese wertvollen Bücher behandeln die Nichtleiter vorzugsweise auf Grund der Prüfungen ihrer elektrischen Festigkeit, ihres Isoliervermögens, der Dielektrizitätskonstanten, ihrer dielektrischen Verluste, des Verhaltens gegen Frequenzen und sonstiger ihnen eigentümlichen elektrischen und mechanischen Eigenschaften. Ferner werden die Konstruktionsformen der Nichtleiter untersucht und festgestellt, wie die elektrischen Kräfte auf sie wirken.

Die Schwierigkeiten, welche sich bei der Behandlung dieser Fragen ergeben, sind außerordentlich große, was den Forschern, welche sich damit befassen, vollkommen bewußt ist. Daher entstehen oft Ergeb-

nisse, die untereinander stark abweichen. Teilweise kommen diese Unstimmigkeiten daher, daß die gesetzmäßigen Zusammenhänge nicht in genügender Weise bekannt sind.

Ein weiterer Grund ist aber darin zu suchen, daß wir nur wenige oder besser überhaupt keine Dielektrika besitzen, welche in ihrer Zusammensetzung so fehlerfrei sind, daß eine Störung der Messungen ausgeschlossen ist. Dabei ist zu beachten, daß die allergeringsten Mängel im Material zu den bedeutsamsten Abweichungen führen können und in vielen Fällen die Veranlassung zu einer gänzlichen Zerstörung der Isolation sind. Im Betrieb gefährden derartige Materialien naturgemäß die Sicherheit der Anlage.

Die Lösung des Problems der Durchschlagsfestigkeit wird in erheblicher Weise dadurch erschwert, daß es dem Versuchsansteller an einem ganz einheitlichen Material fehlt, an welchem er seine Untersuchungen vornehmen kann. Auch die für diese Zwecke herangezogenen Kristalle genügen den Anforderungen einer absolut gleichmäßigen Struktur nicht.

III. Anfertigung von Isolierstoffen im Fabrikationsverfahren.

Es ist im folgenden nicht beabsichtigt, über allgemeine Prüfungen an nichtleitenden Stoffen zu berichten oder neue gesetzmäßige Erscheinungen bei der Beanspruchung vorhandener Dielektrika herauszufinden oder besonders günstige Konstruktionen von Isolierstoffen zu ermitteln. Sondern es wird Stellung genommen zu Fragen, welche die Anfertigung technisch brauchbarer Isolierstoffe betreffen.

Stößt die physikalisch-elektrotechnische Behandlung der Nichtleiter schon auf beträchtliche Hindernisse, so kann dies von der chemisch-technologischen in noch höherem Maße gesagt werden. Auf diesem Gebiete steht uns zahlenmäßiges Material kaum zur Verfügung, Gesetzmäßigkeiten und Konstanten fehlen gänzlich. Wir sind bisher auch nicht in der Lage, auf Messungen fußend, die Ausgangsstoffe und deren Mengen für eine bestimmte Art von Isolierkörpern festzulegen, erst recht natürlich nicht vorher anzugeben, wie sich die dielektrischen Eigenschaften bei Änderung der Rohstoffe und Wechsel in deren Mengen gestalten. Wir wissen aber aus Erfahrung, daß sich sogar aus Leitern der Elektrizität technisch brauchbare isolierende Körper herstellen lassen, und daß eine Zusammensetzung von ausschließlich isolierenden Stoffen durchaus nicht ein Isolierkörper zu sein braucht. Letzteres kann zum Teil seinen Grund darin haben, daß unter dem Einfluß des elektrischen Feldes Zersetzungen stattfinden und durch diese die elektrische Festigkeit vernichtet wird. Oder daß bei starkabweichenden Dielektrizitätskonstanten etwa vorhandene Lufteinschlüsse im Material dielektrisch zu schwach werden und die Zerstörung des Nichtleiters frühzeitig herbeiführen.

IV. Vorbedingungen für rationelles Arbeiten in der elektrischen Isoliertechnik.

Elektrisch isolierende Stoffe brauchen wir in derselben Mannigfaltigkeit, wie die elektrischen Erzeugnisse voneinander verschieden sind, also in außerordentlich vielseitigen und wesensverschiedenen Arten. Wir sind genötigt, natürliche und künstliche, gasförmige, flüssige, nachgiebige, elastische, dehnbare und feste, wetterfeste, hochhitzebeständige, gießbare, anorganische und organische, keramische, unbearbeitbare gegebenenfalls mit Einpressung, bearbeitbare, fest mit Leitern verbundene, Schwachstrom-, Starkstrom- und Hochspannungs- sowie sonstige Nichtleiter zu verarbeiten, ganz wie es der jeweilige Verwendungszweck erforderlich macht.

Es ist leicht zu übersehen, daß eine umfassende chemische Kenntnis die Vorbedingung für diejenigen ist, welche die Fabrikation elektrischer Isolierstoffe übernehmen. Diese Auffassung besteht schon lange, sie wurde bereits anläßlich der Tagung der Amerikanischen Elektrochemischen Gesellschaft in New York im Jahre 1903 von Dr. M. v. Recklinghausen ausgesprochen in seinem Vortrag: Isoliermaterialien, ein Feld für den Chemiker[1]). Er sagt u. a. dabei, daß der Chemiker bedauerlicherweise nur eine geringe Würdigung für die enormen Werte besitzt, welche hier die chemische Arbeit für den Fortschritt der elektrotechnischen Industrie nach sich zieht. Von erstaunlichem Weitblick zeugt Recklinghausens damalige Forderung, baldmöglichst die Wärmefestigkeit der Isoliermaterialien zu erhöhen, die Feuchtigkeitsbeständigkeit der Nichtleiter zu vergrößern und die isolierenden Öle für die Elektrotechnik brauchbarer zu machen.

Ob die chemischen Kreise die Mahnung Recklinghausens im vollen Maße begriffen und vor allem beherzigt haben, soll unerörtert bleiben. Tatsache ist, daß die gewerbliche Herstellung der isolierenden Baustoffe hinter den Fortschritten der Elektrotechnik zurückgeblieben ist, und zwar ist dies nicht nur in Deutschland der Fall, sondern gleichermaßen in der alten wie in der neuen Welt.

Daß hierfür schwerwiegende Gründe vorhanden sein müssen, ist unabweisbar. Die Elektrotechnik darbt z. B. an betriebssicheren brauchbaren Nichtleitern einfacher Konstruktion für hohe Spannungen. Wir haben für die Verteilung der elektrischen Energie in Deutschland längst 200 kV überschritten, in Amerika ist man über 250 kV hinaus. Die Isolierung dieser Hochspannungsleitungen begegnet großen Schwierigkeiten. Daß bei wirtschaftlich derart wichtigen Anlagen bisher keine zweckmäßigere und billigere Lösung der Isolierung gefunden wurde, bezeugt die Hartnäckigkeit des Gegenstandes.

Vorher war gesagt, daß der Fabrikant von Isoliermaterial chemisch gebildet sein muß. Die hier vorliegenden Verhältnisse beweisen aber weiterhin, daß dies allein nicht genügt, wenn er bei der Beurteilung vieler hier auftretender Fragen oftmals nicht völlig hilflos dastehen

---

[1]) Electrical Review, Vol. 42, Nr. 19, 1903.

Kenntnis der elektrischen Festigkeitslehre hin-
erständnis für allgemeine Belange der Elektro-

ls moderner Bestandteil der physikalischen
vielen isoliertechnischen Reaktionen zu be-
en und Anregungen.
miker die Unteilbarkeitslehre der Atome auf-
e, daß die Materie nichts anderes ist als eine
arer Elektrizitätsquanten.

ektrikum nach der Elektronentheorie.

Faraday war der erste, welcher durch die Äquivalenzgesetze in der Elektrolyse gezeigt hat, daß Materie und elektrische Ladungen in funktionellem Zusammenhang stehen. Diese Erscheinungen werden später noch eingehend behandelt.

Das kleinste nicht mehr teilbare Elektrizitätsquantum ist das negativen Charakter und kommt in- und außerhalb tomen vor, ferner in negativen Ionen, sowie losgelöst als freies Elektron. Die Kathodenstrahlen und β-Strahlen sind derartige freie Elektronen. Auch von glühenden Metallen werden sie ausgesandt. Sie zeigen in allen Gasen ein ganz gleichmäßiges Verhalten, werden durch elektrische und magnetische Kräfte abgelenkt und durch diese in ihrer Geschwindigkeit beeinflußt. Da sie Trägheit besitzen, nehmen wir an, daß die Ladung an Masse geknüpft ist. Einem Mol Elektronen kommt das Gewicht von $^1/_{1830}$ g zu.

Der Elektronendurchmesser besitzt ungefähr den zehntausendsten Teil von dem Durchmesser des Atoms. Obwohl die Elektronenladung des Elektrons, welche Millikan gleich $4{,}77 \cdot 10^{-10}$ elektrostatische Einheiten ausgemessen hat, einen sehr kleinen Wert darstellt, so herrscht infolge der Winzigkeit des Elektrons auf seiner Oberfläche eine Energiedichte, welche die gewaltige Potentialdifferenz von 750000 Volt ergibt.

Freie positive Elektrizitätsquanten kennen wir bisher nicht. Die positive Einheitsladung, welche denselben Wert wie das Elektron gleich $4{,}77 \cdot 10^{-10}$ elektrostatische Ladungen besitzt, ist an die kleinste Wasserstoffmasse gebunden. Ferner kommen positive Ladungen in Ionen vor.

Alle Atome derjenigen Stoffe, die wir als Elemente zu bezeichnen pflegen, sind aus positiven und negativen Elektrizitätsquanten aufgebaut. Im Innern eines solchen Atoms befindet sich eine sog. Kernladung. Sie besteht z. B. bei dem einfachsten Gebilde, dem Wasserstoffatom, aus einer an Masse gebundenen positiven Einheitsladung. Um diese kreist im Fall Wasserstoff ein Elektron auf einer ellipsoidähnlichen Fläche, indem die Coulombsche Anziehungskraft, entsprechend den elektrostatischen Ladungen, und die Zentrifugalkraft zu einem Gleichgewicht gelangen. Auf diese Weise bewegt sich das Elektron 6—7 tausend billionenmal in der Sekunde um den Wasserstoffkern, den man auch Proton nennt. Denkt man sich einen Raum von ca. 10 m

Durchmesser, so würde im Verhältnis dazu das Proton nur ein Punkt darin sein. Das in mehreren Metern Abstand sich bewegende Elektron ist noch erheblich kleiner. Für die planetenartige Bewegung ist also Raum genug vorhanden.

Die übrigen Atome unterscheiden sich vom Wasserstoffatom dadurch, daß die Kernladung komplizierter und größer ist und außer positiven auch negative Elektrizitätsquanten enthalten kann, indem aber immer die positive Elektrizität einen Überschuß bildet. Dann wächst in entsprechender Weise die Zahl der kreisenden Elektronen, welche sich zu mehreren sowohl auf derselben Bahn als auch auf Bahnen bewegen, die einen weiteren Abstand vom Kern besitzen. Die Gesamtzahl der umlaufenden Elektronen ist gleich der Kernladungszahl. Man bezeichnet diese im periodischen System als Ordnungszahl.

Es kreisen somit im Wasserstoffatom 1 Elektron um einen Kern mit 1 positiven Ladung, im Kaliumatom 19 Elektronen auf 4 verschiedenen Bahnen um einen Kern, der 19 positive Ladungen besitzt, im Uranatom die bisher bekannte Höchstmenge von 92 Elektronen um einen Kern mit 92 Protonen, usw.

Da sich hier ausschließlich ganze Zahlen bei Wasserstoff als Einheit herausstellen, wird der Schluß gezogen, daß alle Atome aus Elektrizitätsquanten bestehen.

Das gesamte physikalische und chemische Verhalten der Atome ist von der Zahl der Elektronen und den Elektronenbahnen, welche rechnerischer Ermittelung zugängig sind, abhängig. Die auf den äußeren Ellipsoiden kreisenden Elektronen sind leichter geneigt, das Atom zu verlassen wie die auf den inneren Bahnen, besonders dann, wenn sie dort nur in geringer Zahl vorhanden sind.

Verbinden sich mehrere Atome zu Molekülen, so springen ein oder mehrere Elektronen, welche die Wertigkeit des Atoms darstellen und daher Valenzelektronen genannt werden, in den Verband des zweiten Atoms über und bewegen sich dann, den früher genannten Gesetzen wieder folgend, um das Gesamtgebilde.

Ein Atom, das außer seiner Neutralität noch Elektronen aufgenommen hat, ist zu einem negativen Ion geworden. Im Gegensatz dazu ist ein positives Ion ein solches, welches elektronenärmer geworden ist. Die Ionen haben mit großer Annäherung die Masse des Atoms, die vom Atomkern ausgehenden positiven Elektrizitätsmengen verschwinden in den Elektronen.

Zu den Stoffen, die gern Elektronen abgeben, gehören die Metalle. Der Wirbel von abgestoßenen, wiederaufgenommenen und freien Elektronen wird in eine gleichmäßig fließende Bewegung gebracht, wenn ein elektrisches Potentialgefälle an das Metall gelegt wird. Es wirken in dem jetzt vorhandenen elektrischen Feld Kräfte auf die Elektronen. Die dann entstehende Elektrizitätsleitung im Metall, welche der Richtung der Feldstärke entgegengesetzt ist, ist die Bewegung der Leitungselektronen. Die Reaktionsgeschwindigkeit ist der angreifenden Kraft direkt und dem Reaktionswiderstand umgekehrt proportional, wir haben das Ohmsche Gesetz vor uns

$I = E/W$, wo I die Stromstärke, E die Spannung und W der Leitungswiderstand ist.

Der Widerstand stellt also eine Materialkonstante dar und ist der Ausdruck für die Zahl und die Bewegungen der Leitungselektronen.

Stoffe, welche auf Grund ihres atomaren Aufbaues nicht befähigt sind, Elektronen abzugeben, sind Nichtleiter des elektrischen Stromes. Wird ein solcher elektrischer Isolator in ein elektrisches Feld gebracht, so kommt daher kein Wandern von Elektronen, keine elektritrische Strömung zustande.

Jedoch bleiben die elektrischen Kräfte nicht ohne eine das Atom verändernde Wirkung. Die vorhergehenden Ausführungen über die Atomstruktur haben uns erkennen lassen, daß sich die Elektronen mit großer Geschwindigkeit auf ellipsoidähnlichen Bahnen bewegen. Diese Elektronenbahnen erfahren im Nichtleiter-Masseteilchen unter dem Einfluß des elektrischen Feldes eine Deformation, welche durch ein Gleichgewicht zwischen der Zentrifugalkraft, der Coulombschen Anziehungskraft und der Feldstärke zustande kommt. Die Bahnverschiebung erfolgt in entgegengesetzter Richtung des Feldes, die äußeren Elektronenbahnen bestimmen fast ausschließlich den Wert dieser Abweichung. Der Betrag der Dielektrizitätskonstanten läßt sich hieraus errechnen.

Gänzlich ohne ein geringes Vorkommen von wanderungsfähigen Elektronen ist aber kein praktisch vorhandener nichtleitender Stoff. Deshalb ist stets ein, wenn auch oftmals nur unbedeutender Strom vorhanden, welcher sich dem gedachten Verschiebungsstrom überlagert.

Also auch die elektrische Festigkeit ist eine Materialkonstante wie die elektrische Leitfähigkeit. Bei einer bestimmten Höhe der elektrischen Belastung tritt ein Zerreißen des atomaren Gefüges ein, die Elektrizität wandert unter dem Druck der Potentialdifferenz als Elektronen und Ionen durch den Körper.

VI. Luftleerer Raum und Gase in dielektrischer Beziehung.

Im luftleeren Raum sind die Vorgänge beim Elektrizitätsdurchgang verhältnismäßig am leichtesten zu übersehen. Unter dem Einfluß der angelegten Spannung entsteht in Richtung des elektrischen Feldes ein Strom freier Elektronen, dessen Stärke sich durch die Anwendung von Glühkathoden steigern läßt.

Ist das Vakuum kein vollständiges und sind noch Gasspuren vorhanden, so stoßen Molekeln, Ionen und Elektronen aufeinander. Die Stöße erfolgen elastisch, d. h. ohne Energieänderung, wenn zwischen diesen verschiedenen Arten von Stoffteilchen keine Affinität vorhanden ist. Im anderen Fall, besonders bei erhöhter Feldstärke, kommt es zu chemischen Umwandlungen und als Folge davon zu Änderungen beim Elektrizitätstransport.

Die Zeit erfordernde Änderung der Leitfähigkeit von Gasen, welche Spuren von Molekeln mit Elektronenaffinität enthalten, hat zu einer quantitativen Bestimmung von geringfügigen Sauerstoffmengen geführt

(tausendstel bis hunderttausendstel Prozenten), welche sich in einem indifferenten Gase, z. B. in Stickstoff, befinden. M. Pirani und E. Lax[1]) legten bei 760 mm Hg-Druck unter Benutzung einer Aluminiumscheibe von 30 mm Durchmesser und einer Molybdänspitze in 50 mm Entfernung als Elektroden 5000 V Wechselstrom von 50 Per an. Aus den Leitungskurven des gleichgerichteten Stroms, welchen Stromstärken in der Größenordnung von 10^{-4} A entsprechen, läßt sich der Gehalt an Sauerstoff entnehmen.

Wird im Atom ein Elektron auf eine weiter auswärts kreisende Bahn getrieben, so geschieht dies mit geringerem Aufwand an Energie, als wenn das Elektron vom Atom ganz fortfliegt, also aus dem Atomverband ausscheidet und mit einer Molekel ein Ion bildet. Die unter erhöhtem Potential zustande kommenden Beschleunigungen und Stöße der Molekeln und Ionen der stofflichen Bestandteile sowie der Elektronen führen zu komplizierten Reaktionen, welche eine quantitative Verfolgung der Einzelprozesse schwierig gestalten.

Von den gasförmigen Isolierstoffen ist technisch der wichtigste die Luft. Bei den weitaus meisten elektrischen Vorgängen dient die Luft als Isolator. Aus diesem Grunde ist die Kenntnis ihrer Zusammensetzung und ihrer dielektrischen Eigenschaften eine Notwendigkeit.

Die Luft ist kein Element, sondern ein Gemisch aus einer ganzen Anzahl verschiedener Stoffe. Sie zeigt in ihrer Zusammensetzung eine große Konstanz in den Bestandteilen und eine sehr gleichmäßige Verteilung, weil es das Bestreben der Gasmolekeln ist, sich durch ihre lebhafte Bewegung und ihre unbegrenzte Ausbreitungsmöglichkeit in vollendeter Weise zu mischen. Der Gehalt an Wasserdampf ist jedoch größeren Schwankungen ausgesetzt.

Der Hauptbestandteil der Luft ist Stickstoff. In trockenem Zustande beträgt der Gehalt bei 760 mm Barometerstand rund 75 Gewichtsprozente. Ferner enthält Luft rund 23 vH Sauerstoff, 1,3 vH Argon und Spuren von Kohlendioxyd, Ammoniumnitrit, Ammoniumnitrat, Helium, Neon, Krypton, Xenon, Ozon, Methan sowie geringe organische und anorganische Verunreinigungen. In 1 cbm Luft wurden an den wenig reaktionsfähigen seltenen Edelgasen ermittelt an Neon 0,01339 g, an Helium 0,00027 g, an Krypton 0,00018 g und an Xenon 0,00003 g. Der Wasserdampf macht im Durchschnitt 1,3 Volumprozente oder 0,84 Gewichtsprozente aus. Da die Dichte des Wasserdampfes nur 0,62 beträgt, ist feuchte Luft leichter als trockene. Die Menge an Wasserdampf, welche sich in der Luft befindet, hängt von der Temperatur ab. Die Verdunstung des Wassers findet aber nicht nur beim Siedegrad statt, sondern bei allen Temperaturen. So entspricht die Tension bei — 20° C 0,93 mm Quecksilberhöhe, bei — 10° 2,15 mm, bei 0° 4,6 mm, bei 15° 12,7 mm, bei 20° 17,4 mm, bei 40° 54,9 mm, bei 60° 148, 9 mm, bei 80° 355,4 mm, bei 100° 760 mm.

Bei 25° C sind in 1 cbm völlig mit Wasserdampf gesättigter Luft bei 760 mm Quecksilberhöhe 22,5 g Wasser enthalten, von denen sich

[1]) Wissenschaftl. Veröffentlichungen aus dem Siemenskonzern Bd. 1, Heft 1.

bei 0° 17,1 g Flüssigkeit niederschlagen. Dehnt sich die mit Wasserdampf gesättigte Luft aus, so sinkt naturgemäß die Temperatur. Es scheiden sich an den in der Luft vorhandenen Staubteilchen Wassernebel aus, ebenso wirken infolge des Auftretens dielektrischer Kräfte die Ionen als Kondensationskerne.

Die Permeabilität von Luft ist sehr groß, was isoliertechnisch von erheblicher Bedeutung ist, weil poröse Nichtleiter, z. B. die Faserstoffe, im nicht oder nicht hinreichend imprägnierten Zustande bis ins Innerste luftdurchsetzt sind. Wird an einen lufthaltigen Isolierstoff elektrische Spannung angelegt, so wirkt das Feld stark auf die Luftblasen ein und führt eine Umsetzung in aktiven Sauerstoff (Ozon) und Salpetersäure herbei, falls das Potentialgefälle nicht wesentlich unter dem sichtbaren Ionisationspunkt bleibt. Die Größe der Lufteinschlüsse, der Druck, die Temperatur und die Art, wie das elektrische Feld, z. B. durch Spitzenwirkung der Fäserchen, im Körperinneren sich betätigt, spielen hier eine große Rolle. Ein Spannungsgradient von etwa 1000—3000 V/mm bewirkt die Dissoziierung der Luft und führt zur Bildung der äußerst reaktionsfähigen Sauerstoff- und Sauerstoff-Stickstoffverbindungen, welche die Zerstörung des Nichtleiters herbeiführen.

Im normalen Zustand ist die Luft wenig dissoziiert, die Leitungsträger sind auch bei den höchsten bisher festgestellten Spaltungen nur in verschwindenden Mengen gegenüber den neutralen Molekeln vorhanden. Immerhin ist eine geringe Leitfähigkeit ohne weiteres nachzuweisen, indem ein auf isolierter Grundlage aufgestelltes Elektroskop sich allmählich durch die in der Luft befindlichen Ionen entladet.

Wenn auch durch Staub oder durch die Apparatur Isolationsfehler entstehen können, ist erwiesen, daß ein bestimmter Teil der Ableitung durch die in der Luft vorhandenen Ionen hervorgerufen wird. Filtriert man die Luft durch Glaswolle, Wasser, enge Metallrohre oder ein starkes elektrisches Feld, hat sie ihre Leitfähigkeit verloren. Lufträume, die abgeschlossen gehalten werden, wie dies in Isolierstoffen vorkommt, zeigen einen erheblich größeren Ionenbestand, welcher durch die Einwirkung der Wände veranlaßt wird.

Eine Bestrahlung der Luft mit ultraviolettem Licht, Röntgenstrahlen oder radioaktiven Stoffen vermehrt die Spaltung und steigert den Elektrizitätstransport.

Legt man an Gase, z. B. an Luft, eine elektrische Spannung an, so zeigt sich unabhängig von der Größe der letzteren zunächst nur eine sehr geringe Leitfähigkeit. Selbstverständlich dürfen die Potentialdifferenzen nicht die Höhe erreichen, bei welcher Entladungen beginnen. Anfänglich wird das Ohmsche Gesetz erfüllt, aber bald bleibt der Strom hinter der angelegten Potentialdifferenz zurück, so daß eine Sättigung eintritt und ein weiteres Ansteigen der Stromstärke aufhört. Erst dann, wenn das elektrische Feld so stark ist, daß Ionisation einsetzt, also in Luft von 760 mm Hg-Druck bei ungefähr 29000 V/cm oder in evakuierter Luft von 1 mm Hg-Druck bei 40 V/cm wächst die Stromstärke rapide. Bei erhöhter Spannung kommt es dann zum Glimmen und zur Zerstörung der Isolation. Den Knick der Kurve

bezeichnet man als Anfangsspannung oder Funkenpotential, dann setzt die Büschelentladung und zum Schluß der Büschellichtbogen ein. Unter der Wirkung der gesteigerten Spannung wird den zunächst in geringer Zahl vorhandenen Elektronen eine verstärkte Bewegungsenergie zuteil, sie prallen gegen die Gasmolekeln und führen sie durch den Anprall in Ionen über. Diese Ionen beteiligen sich unter dem Einfluß des elektrischen Feldes ihrerseits dann ebenfalls an der Hervorbringung neuer Ionen, so daß schließlich ein durch die angelegte Potentialdifferenz bedingtes Gleichgewicht und eine entsprechende Stromüberführung zustande kommt. Bei der hohen Hitze, welche im Durchschlagskanal herrscht, vereinigen sich Sauerstoff und Stickstoff zu Nitroverbindungen. Die Umsetzungen, welche hier entstehen, sind abhängig von der chemischen Affinität, also der Atom- und Molekularstruktur, und dem Mengenverhältnis der verschiedenen Moleküle, Ionen und Elektronen.

Untersuchungen über die elektrische Festigkeit der Luft besitzen wir in großer Menge. Sie sind keineswegs einfach, was aus der Streuung der gefundenen Werte hervorgeht. Von maßgeblichem Einfluß sind die Formen der Elektroden, z. B. ob diese aus Spitzen, Platten, Kugeln, Zylindern oder anderen Formen bestehen. Je größer die vom Schließungsfunken zu überbrückende Luftstrecke ist, um so geringer pro Zentimeter ist die elektrische Festigkeit. In sehr dünnen Schichten haben wir elektrische Festigkeiten, welche auf das homogene Feld umgerechnet, Millionen von V/cm betragen. Luft hält bei größeren Schlagweiten ungefähr 30000 V/cm aus.

Selbst zwischen ebenen Platten im scheinbar ganz homogenen Felde schwanken die von den Versuchsanstellern gefundenen Werte bis zu 50 vH. Am eindeutigsten fallen die Festigkeitsbestimmungen unter Benutzung conaxialer Zylinder als Elektroden auf, weshalb Meßfunkenstrecken unter diesen Bedingungen bevorzugt sind.

Die geringsten Unebenheiten an den Elektroden machen die Stromleitung veränderlich, vor allem Spitzenbildungen. Auch das Elektrodenmaterial, welches aus nichtleitenden Stoffen bestehen kann, hat auf die Durchschlagsversuche Einfluß. Vielfach bilden sich Oxyde, welche die Resultate ungleichmäßig gestalten. Auch wandert Feuchtigkeit an die Kathode und legt eine Wasserhaut herum.

Frequenzen beeinflussen den Durchgang der Elektrizität durch Gase nicht.

Haben wir es mit Lufteinschlüssen in faserigen und anderen Dielektriken zu tun, so pflegt durch die auftretende Joulesche Wärme und durch Wärme infolge dielektrischer Verluste das im Isolierkörper enthaltene Wasser chemisch wirksam zu werden und teilweise in den Gaszustand überzugehen, so daß die Ionisation noch unter günstigeren Verhältnissen verläuft. Durch Temperaturzunahme wird die Zerstörung der isolierenden Eigenschaften von Luft beschleunigt, es tritt infolge Wärmeentwicklung zusätzliche Ionenbildung auf.

Werden die Gase durch hohen Druck auf ein kleines Volumen zusammengepreßt, führt dies zu inneren Reibungswiderständen, welche

die Ionen- und Elektronenbildung und ihre Geschwindigkeiten stark herabdrücken. Die elektrische Festigkeit steigt annähernd proportional mit dem Gasdruck. Man kann also bei einem Gas, welches auf $^1/_{10}$ seines früheren Raumes zusammengepreßt ist, die Durchschlagsfestigkeit auf ungefähr den zehnfachen Wert erhöhen. Derartige komprimierte Luft-, Kohlensäure- und Stickstoffgase benutzt man deshalb u. a. zum Füllen der inneren Teile von Hochspannungsdurchführungen, wobei noch der Vorteil besteht, daß die Dielektrizitätskonstante den niedrigen Wert von 1 beibehält.

Der gegenteilige Fall, ein Nachlassen der elektrischen Festigkeit der Luft, macht sich im Leitungsbau unangenehm bemerkbar. Werden nämlich die Leitungen bis zur Zulässigkeit durch Spannung belastet und bei gleicher Entfernung von einander an Orte niedrigen Barometerstandes geführt, z. B. über eine Gebirgsgegend, so treten die sog. Koronaerscheinungen auf, d. h. es entladen sich Elektrodenströme und bringen die Lufthüllen in der Umgebung der Leitungsdrähte zum Glimmen. Wir haben es hier mit einem unvollkommenen Durchschlag der Luft zu tun, hervorgerufen durch die zylindrische Form der Elektroden, also der unter Spannung stehenden Kupferdrähte. An Stellen, wo die Drähte durch scharfkantige Risse beschädigt sind oder durch Verunreinigungen, wie Schnee, Ruß u. a., eine ungleichmäßige Oberfläche besitzen, ist die Glimmerscheinung infolge gesteigerter Felddichte naturgemäß größer. Die Koronaverluste der Luftisolation können derart groß werden, daß dadurch die Wirtschaftlichkeit der Stromversorgung in Frage gestellt wird.

F. W. Lee und B. Kurrelmeyer[1]) haben Untersuchungen der durch Gleichstrom unter vermindertem Druck entstehenden Koronaerscheinungen in Luft, Sauerstoff, Stickstoff, Kohlensäure, Helium und Wasserstoff vorgenommen, indem die eine Elektrode ein vergoldeter Eisendraht von 0,066 cm Durchmesser war, welcher von einem Messingzylinder von 9,5 cm Durchmesser als Gegenelektrode eingehüllt wird. Die genannten Gase weichen teilweise in ihrem Verhalten stark voneinander ab. So tritt bei Helium unter 25 cm Hg-Druck schon bei 13 kV/cm an der Drahtoberfläche ein gelbliches Glimmen auf, dagegen in Kohlensäure eine mehr rot gefärbte Leuchterscheinung erst bei 50 kV/cm. Im Zwischenraum von 26 kV/cm bis 43 kV/cm liegen bei diesem Druck die sichtbaren Entladungen von Wasserstoff, Sauerstoff, Luft und Stickstoff. Dem Nullpunkt des Drucks streben die Kurven der Feldstärken annähernd linear zu.

Bei den vorliegenden Messungen zeigt sich, daß die Polarität eine Rolle spielt. Ist bei niedrigen Drucken der Draht mit dem positiven Pol der Stromquelle verbunden, also die Sammelstelle der Elektronen und negativen Ionen, erfolgt ein langsameres Ansteigen der Stromstärke, als wenn er negativ ist, d. h. die positiven Ionen heranzieht. Auch in den Leuchterscheinungen ergeben sich hinsichtlich der Polarität Unterschiede, desgleichen entstehen bei jedem Gase zwei verschiedene, wenn

[1]) J. Am. Inst. El. Engs. 1925 Heft 1.

auch nicht gerade weit auseinanderliegende, Kurven der Koronafeldstärken, je nachdem ob die Drahtelektrode positiv oder negativ aufgeladen wurde. Es war natürlich dafür Sorge getragen, daß vor jeder neuen Messung die Drahtoberfläche gereinigt wurde, um unkontrollierbare Störungen auszuschalten. Nicht außer Betracht darf aber gelassen werden, daß die untersuchten Gase nicht absolut chemisch rein waren, sondern kleine Beimengungen enthielten. Inwieweit dies den Verlauf der Prozesse beeinflußt, läßt sich nicht ohne weiteres schätzen.

An Porzellanhängeketten kann die Erscheinung des unvollkommenen Durchschlags der Luft, besonders unter feuchten Verhältnissen, auch auftreten. Hier bildet dann die glimmende Hülle einen Schutz gegen den Überschlag, denn es stellt sich eine günstigere Spannungsverteilung auf der Kette ein. Die Überschlagsneigung wird vermindert.

Entscheidend für den Durchbruch der Nichtleiter ist der Scheitelwert der Spannung, bei sinusförmigem Wechselstrom hat man daher mit $\sqrt{2}$ zu multiplizieren.

Bei den Messungen der elektrischen Festigkeit von Luft findet man, daß der Durchschlagsfunke nicht bei dem dazugehörigen Potentialgefälle überzugehen pflegt, sondern daß eine erheblich höhere, mitunter doppelte Spannung erforderlich ist.

Diese Erscheinung der verzögerten Ladung kommt daher, daß anfänglich noch nicht diejenige Anzahl von freien Elektronen und Ionen vorhanden ist, welche den Durchschlag sofort einleitet. Deshalb macht sich zunächst ein erhöhtes Potential notwendig. Man kann die Verzögerung der Ionisation durch Bestrahlung der zu durchschlagenden Luftstrecke mit radioaktiven Stoffen vermindern.

Für die zahlenmäßig ausdrückbare Kennzeichnung des spezifischen Fassungsvermögens der isolierenden Stoffe für die Elektrizität, also für das Verhältnis der darin enthaltenen Elektrizitätsmenge zu der aufgedrückten Spannung, ist die Luft, genauer der luftleere Raum, als Einheit gewählt worden. In Luft befindet sich im Verhältnis zum Potentialgefälle die kleinste Elektrizitätsmenge, daher ist die Luft auch am stärksten beansprucht.

Da die Luft unterhalb der Durchbruchspannung sich von allen Stoffen am verlustlosesten erweist, werden Vergleichskondensatoren mit Luft als Dielektrikum für die Messung der kleinsten Verlustwinkel benutzt.

Beim Coulombschen Anziehungsgesetz ist durch die Zahl der Dielektrizitätskonstanten zu dividieren, wenn die auf einander wirkenden Elektrizitätsmengen nicht in Luft eingebettet sind, sondern in anderen Stoffen. Die Anziehungskraft im Wasser beträgt z. B. nur $^1/_{84}$ von dem Wert, welchen sie in einer Luftatmosphäre besitzt, da die Verschiebbarkeit (Dielektrizitätskonstante) des Wassers 84mal so groß ist als die der Luft.

die Ionen- und Elektronenbildung und ihre Geschwindigkeiten stark herabdrücken. Die elektrische Festigkeit steigt annähernd proportional mit dem Gasdruck. Man kann also bei einem Gas, welches auf $^1/_{10}$ seines früheren Raumes zusammengepreßt ist, die Durchschlagsfestigkeit auf ungefähr den zehnfachen Wert erhöhen. Derartige komprimierte Luft-, Kohlensäure- und Stickstoffgase benutzt man deshalb u. a. zum Füllen der inneren Teile von Hochspannungsdurchführungen, wobei noch der Vorteil besteht, daß die Dielektrizitätskonstante den niedrigen Wert von 1 beibehält.

Der gegenteilige Fall, ein Nachlassen der elektrischen Festigkeit der Luft, macht sich im Leitungsbau unangenehm bemerkbar. Werden nämlich die Leitungen bis zur Zulässigkeit durch Spannung belastet und bei gleicher Entfernung von einander an Orte niedrigen Barometerstandes geführt, z. B. über eine Gebirgsgegend, so treten die sog. Koronaerscheinungen auf, d. h. es entladen sich Elektrodenströme und bringen die Lufthüllen in der Umgebung der Leitungsdrähte zum Glimmen. Wir haben es hier mit einem unvollkommenen Durchschlag der Luft zu tun, hervorgerufen durch die zylindrische Form der Elektroden, also der unter Spannung stehenden Kupferdrähte. An Stellen, wo die Drähte durch scharfkantige Risse beschädigt sind oder durch Verunreinigungen, wie Schnee, Ruß u. a., eine ungleichmäßige Oberfläche besitzen, ist die Glimmerscheinung infolge gesteigerter Felddichte naturgemäß größer. Die Koronaverluste der Luftisolation können derart groß werden, daß dadurch die Wirtschaftlichkeit der Stromversorgung in Frage gestellt wird.

F. W. Lee und B. Kurrelmeyer[1]) haben Untersuchungen der durch Gleichstrom unter vermindertem Druck entstehenden Koronaerscheinungen in Luft, Sauerstoff, Stickstoff, Kohlensäure, Helium und Wasserstoff vorgenommen, indem die eine Elektrode ein vergoldeter Eisendraht von 0,066 cm Durchmesser war, welcher von einem Messingzylinder von 9,5 cm Durchmesser als Gegenelektrode eingehüllt wird. Die genannten Gase weichen teilweise in ihrem Verhalten stark voneinander ab. So tritt bei Helium unter 25 cm Hg-Druck schon bei 13 kV/cm an der Drahtoberfläche ein gelbliches Glimmen auf, dagegen in Kohlensäure eine mehr rot gefärbte Leuchterscheinung erst bei 50 kV/cm. Im Zwischenraum von 26 kV/cm bis 43 kV/cm liegen bei diesem Druck die sichtbaren Entladungen von Wasserstoff, Sauerstoff Luft und Stickstoff. Dem Nullpunkt des Drucks streben die Kurven der Feldstärken annähernd linear zu.

Bei den vorliegenden Messungen zeigt sich, daß die Polarität eine Rolle spielt. Ist bei niedrigen Drucken der Draht mit dem positiven Pol der Stromquelle verbunden, also die Sammelstelle der Elektronen und negativen Ionen, erfolgt ein langsameres Ansteigen der Stromstärke als wenn er negativ ist, d. h. die positiven Ionen heranzieht. Auch in den Leuchterscheinungen ergeben sich hinsichtlich der Polarität Unterschiede, desgleichen entstehen bei jedem Gase zwei verschiedene, wenn

ıicht gerade weit auseinanderliegende, Kurven der Koronafeld-
ı, je nachdem ob die Drahtelektrode positiv oder negativ auf-
ı wurde. Es war natürlich dafür Sorge getragen, daß vor jeder
Messung die Drahtoberfläche gereinigt wurde, um unkontrol-
e Störungen auszuschalten. Nicht außer Betracht darf aber
n werden, daß die untersuchten Gase nicht absolut chemisch
aren, sondern kleine Beimengungen enthielten. Inwieweit dies
erlauf der Prozesse beeinflußt, läßt sich nicht ohne weiteres
en.

a Porzellanhängeketten kann die Erscheinung des unvollkom-
Durchschlags der Luft, besonders unter feuchten Verhältnissen,
uftreten. Hier bildet dann die glimmende Hülle einen Schutz
den Überschlag, denn es stellt sich eine günstigere Spannungs-
ung auf der Kette ein. Die Überschlagsneigung wird vermindert.
ıtscheidend für den Durchbruch der Nichtleiter ist der Scheitel-
er Spannung, bei sinusförmigem Wechselstrom hat man daher
? zu multiplizieren.

ei den Messungen der elektrischen Festigkeit von Luft findet man,
er Durchschlagsfunke nicht bei dem dazugehörigen Potential-
überzugehen pflegt, sondern daß eine erheblich höhere, mitunter
te Spannung erforderlich ist.

iese Erscheinung der verzögerten Ladung kommt daher, daß an-
h noch nicht diejenige Anzahl von freien Elektronen und Ionen
ıden ist, welche den Durchschlag sofort einleitet. Deshalb macht
ınächst ein erhöhtes Potential notwendig. Man kann die Ver-
ng der Ionisation durch Bestrahlung der zu durchschlagenden
recke mit radioaktiven Stoffen vermindern.

ür die zahlenmäßig ausdrückbare Kennzeichnung des spezifi-
Fassungsvermögens der isolierenden Stoffe für die Elektrizität,
r das Verhältnis der darin enthaltenen Elektrizitätsmenge zu der
rückten Spannung, ist die Luft, genauer der luftleere Raum, als
t gewählt worden. In Luft befindet sich im Verhältnis zum
ialgefälle die kleinste Elektrizitätsmenge, daher ist die Luft auch
ırksten beansprucht.

a die Luft unterhalb der Durchbruchspannung sich von allen
ı am verlustlosesten erweist, werden Vergleichskondensatoren
ıft als Dielektrikum für die Messung der kleinsten Verlustwinkel
t.

eim Coulombschen Anziehungsgesetz ist durch die Zahl der
trizitätskonstanten zu dividieren, wenn die auf einander wirken-
lektrizitätsmengen nicht in Luft eingebettet sind, sondern in
n Stoffen. Die Anziehungskraft im Wasser beträgt z. B. nur
n dem Wert, welchen sie in einer Luftatmosphäre besitzt, da die
iebbarkeit (Dielektrizitätskonstante) des Wassers 84mal so groß
die der Luft.

VII. Flüssigkeiten in dielektrischer Beziehung.

Der Elektrizitätsdurchgang durch flüssige Stoffe besitzt Unterschiede und Ähnlichkeiten mit dem, wie er sich in Gasen abspielt.

Gleich ist bei den beiden Aggregatzuständen, daß ein Rückstandsstrom nach Ausschaltung der angelegten Potentialdifferenz nicht in Erscheinung tritt, wenigstens bei solchen Gasen und Flüssigkeiten nicht, die gut durchgemischt sind.

Ausgußmassen zeigen im flüssigen Zustand unter Spannung nur Stromwärmeverluste, im festgewordenen Aggregatzustand kommen noch dielektrische Verluste hinzu.

Im Gegensatz zum Verhalten der Gase bringt die Stromleitung in Flüssigkeiten eine Erwärmung hervor, welche in ihrem Verlauf durch das Joulesche Gesetz bestimmt wird.

Von den Gasen nimmt die Luft in isoliertechnischer Beziehung das größte Interesse in Anspruch, von den Flüssigkeiten das Wasser. Während die Gase die niedrigste Dielektrizitätskonstante = 1 aufweisen, besitzt Wasser die höchste = 84. Infolgedessen ist das Wasser befähigt, auf gelöste Stoffe eine starke dissoziierende Kraft auszuüben.

Eine mehratomige Molekel begibt sich in der Weise in den dissoziierten, d. h. Ionenzustand, indem das Atom mit den kleinsten Masseteilchen der Elektrizität, den Elektronen, eine chemische Bindung eingeht. Aus der neutralen Molekel entstehen durch den Lösungsvorgang auf diese Art 2 Ionen mit entgegengesetzten Ladungen, es bleiben aber auch nichtdissoziierte Molekeln des gelösten Stoffes neben den positiven und negativen Ionen bestehen.

Die Kraft, welche den festen Körper in das Lösungsmittel hineintreibt, nennt man den Lösungsdruck. Die Menge der gelösten Molekeln bestimmt den osmotischen Druck. Lösungsdruck und osmotischer Druck, welcher ähnlich wie bei den Gasen die Molekeln auseinander zu treiben und die Flüssigkeit zu verdünnen sucht, wirken gegeneinander. Sinkt der Lösungsdruck unter den osmotischen Druck, z. B. durch zunehmende Konzentration der gelösten Molekeln, ist dieser bestrebt, gelöste Körper in fester Form auszuscheiden.

Reines Wasser zeigt, wie alle Stoffe, die besonders einheitlicher Natur und frei von verunreinigenden Spuren sind, eine starke Abneigung, sich zu dissoziieren. Experimentelle Untersuchungen haben ergeben, daß die Leitfähigkeit von Wasser, ebenso von konz. Schwefelsäure, konz. Flußsäure, kristallisierten Salzen, u. a. sehr niedrig ist und um so tiefer herabgeht, je mehr diese Stoffe von Beimengungen befreit werden.

Ganz ohne Vorhandensein von kleinen Mengen positiver Wasserstoffionen und negativer Hydroxylionen ist selbst das reinste Wasser nicht. Auch absorbierte Luft erhöht die Dissoziation.

Von allen Ionen wandern die des Wassers am schnellsten, die Geschwindigkeiten drückt man in reziproken Ohm aus.

Die Temperatur spielt bei der Spaltung in Lösung gehender Körper

. und um so größer ihre Zahl. Bei dem Metall ist es bekanntlich kehrt. Dort wird die Freiheit der Elektrizitätsträger bei steigender eratur gehemmt, so daß in der Kälte eine vermehrte Strömung indet.

Bringt man ein Potentialgefälle unter Benutzung von metalli- Elektroden in Berührung mit einer Flüssigkeit, so wandert vom ven Pol aus unter dem Druck der aufgewendeten Spannungs- ie positive Elektrizität, gebunden an positive Ionen, an die Ka- und gibt hier die Elektrizitätsladung ab, indem dann zugleich est des Ions in den Elementarzustand zurückkehrt. In gleicher begeben sich vom negativen Pol aus negative Ionen an die Anode, itteln ebenfalls die Elektronen der Elektrode und hinterlassen brigen Bestandteil des Ions im Elementarzustand. Dabei pflegt lüssigkeit durch Joulesche Wärme in vielen Fällen erheblich an eratur zuzunehmen.

e nach den chemischen Verwandtschaften der an dem Elektrizi- rchgang beteiligten Stoffe reagieren diese direkt oder sekundär ander. Nähere Auskunft über die sich hier abspielenden Pro- gibt die Lehre von der Elektrochemie.

Vie sehr chemische Stoffatome und Elektrizitätsatome miteinan- nerlich verknüpft sind, beweist die Gesetzmäßigkeit, daß zwi- Strommengen und abgeschiedenen Stoffen Verhältnisgleichheit it, und daß jedwedes Grammatom eines beliebigen Stoffes die e Elektrizitätsmenge, nämlich 96540 Coulomb überführt und an lektroden abgibt. Man nennt diesen Wert, welcher 26,86 Amp.- len entspricht, das elektrochemische Äquivalent. In 1 Amp. le werden daher 0,2983 g Sauerstoff bzw. 0,0375 g Wasserstoff len. Die Erkenntnisse dieser engen Beziehungen zwischen Stoff Elektrizitätsatom verdanken wir Faradays Arbeiten.

Vie groß sich die Menge der Elektrizität beläuft, welche durch eine gkeit hindurchgegangen ist, läßt sich auf leichte Weise durch Wägen lektroden des Coulometers oder auch gasanalytisch feststellen.

Die Wege, welche die Verbindung von Spaltprodukten und Elek- itsmassenteilchen wählen, um im Elektrolyten den Elektrizitäts- port vorzunehmen, führen nicht sämtlich in gerader Richtung auf stem Wege von Elektrode zu Elektrode. Überall in der Flüssig- assen sich Wanderungen feststellen. Am wenigsten dicht ist die e von Ladungen in der Mitte der Rückwand von Elektroden. Viderstand, welcher beim Elektrizitätstransport zu überwinden ist, ab von der Entfernung der Elektroden, deren Fläche, der Ionen- ntration und, wie schon hervorgehoben wurde, von der Tempe- Erhöhter Druck erniedrigt die Leitfähigkeit.

Um einen Begriff von den hier vorliegenden elektrischen Wider- en zu geben, diene die Angabe, daß dieser bei einem gutleitenden rolytwürfel bei 40° C unter Anwendung von Elektroden, die 1 cm und 1 cm breit sind, ungefähr 1 Ohm beträgt. Man hat bei solchen ngen, um die dem Strom entgegengesetzt wirkende Polarisation

Tritt an Stelle von Wasser ein anderes Lösungsmittel, z. B. ei solches organischer Natur, pflegt das elektrische Leitvermögen stark her abzugehen, so bei den flüssigen Kohlenwasserstoffen und ihren Halogen verbindungen, Paraffinen, Ölen, Nitroverbindungen u. a.

Auf das Verhalten der Öle wird später noch besonders eingegangen da sie isoliertechnisch von großer Wichtigkeit sind.

Anorganische Säuren, z. B. Chlorwasserstoff, verlieren ihre Disso ziierungsfähigkeit, wenn sie in Benzol, Toluol, Chloroform u. dgl. ein geleitet werden. Der für die elektrische Isolation gefährlichste Bestand teil ist unter allen Umständen das Wasser.

Das Durchschlagen von flüssigen Nichtleitern ist wenig geklärt die hierbei festgestellten Ergebnisse weichen stark voneinander ab Zweifellos liegt diese Erscheinung mit an der Art der Elektroden, deren Veränderung durch Benetzung mit Stoffen, welche in der Flüssigkeit enthalten sind, an den Temperaturen und an Zersetzungen, die das elektrische Feld hervorruft. Ionenwanderungen sind mit Bestimmt heit vorhanden. Diese lösen Wirkungen aus, welche den Durchschlag verzögern bzw. beschleunigen. Selbst in Flüssigkeiten, welche einer sehr sorgfältigen Behandlung unterzogen sind, befinden sich stets Spuren von Luft und Wasser.

Infolge starker Ionenreibung findet ein Anwachsen der Durchschlagsfestigkeit statt, wenn die Frequenz steigt.

VIII. Kolloide und Suspensionen im elektrischen Feld.

Zwischen Lösungen und festen Körpern gibt es eine Zwischenstufe, die Suspensionen und scheinbaren Lösungen. Das Untersuchungsmaterial, welches über dieses Gebiet aussagt, ist immer beachtlicher geworden und hat zu technisch bedeutsamen Aufschlüssen geführt. Auch die Industrie der elektrischen Isolierstoffe wendet mit großem Nutzen die Lehren und Gesetzmäßigkeiten an, welche sich hier ergeben haben.

Viele Körper von organischem und anorganischem Aufbau, die zu den besten Nichtleitern zählen und für gewöhnlich unlöslich sind, lassen sich durch Zerstäuben, durch elektrische, mechanische und chemische Einwirkungen in einen Zustand bringen, welchen man nach den bei Leim festgestellten Erscheinungen als k o l l o i d a l bezeichnet. Ihre Eigenschaften bestehen äußerlich darin, daß die Stoffe in diesem kolloidalen Zustand eine außerordentlich feine Verteilung besitzen, also über eine sehr große Oberfläche im Verhältnis zur Masse verfügen. Die Untersuchung des kolloidalen Zustandes bedeutet daher das Studium der Oberflächenenergie.

Man nennt die Lösung das Dispersionsmittel und den darin gelösten kolloidalen Stoff die disperse Phase. Solche disperse Systeme bestehen u. a. zwischen einem Gas und einer Flüssigkeit, einer Flüssigkeit und einem festen Körper, zwischen zwei Gasen, zwischen zwei Flüssigkeiten usw. Viele Körper, wie z. B. Gummi, Harze, Kohlen-

er, sind ausschließlich als Kolloide bekannt, andere Stoffe besitzen ähigkeit, kolloidal und kristalloidal in Lösung zu gehen. Zwischen id- und Kristalloidflüssigkeiten besteht der Unterschied, daß bei :en, welche ein ungewöhnlich großes Molekulargewicht haben, sich ein osmotischer Druck geltend macht. Es lassen sich daher durch se die kolloidalen Lösungen rein herstellen. Auch optisch ist der is für den kolloidalen Zustand der Stoffe zu erbringen.

)ie Oberflächenspannung kann man z. B. durch Messung der kaen Steighöhe ermitteln, oder auch nach der Tropfenmethode. Ein :en reißt ab, wenn sein Gewicht gleich dem Produkt aus der :lächenspannung und dem Umfang der Tropfenbasis ist. Die :lächenspannung gegenüber festen Körpern stellt man z. B. mitler Mohrschen Wage nach Wilhelmy fest. Siehe Holde, Unterıngen usw., und Kohlrausch, Prakt. Phys.

Während der Name „Suspension" für neutrale in Flüssigkeiten ımmende Körper, die sich allmählich zu Boden senken, gebraucht ən soll, denkt man sich kolloidal gelöste Stoffe als ein Gemengsel ıeutralen Molekeln und Ionen. In den kolloiden Stoffen befinden ılso Elektrizitätsträger. Durch Adhäsion und Kapillarität ist bei . die Neigung vorhanden, in den festen Zustand überzugehen. . Die ıartigen Ladungen der Ionen wirken diesem Bestreben elektroch entgegen, so daß sich die kolloidale Lösung als Gleichgewicht əllt.

Schon 1861 hatte Quincke gefunden, daß Suspensionen unter dem k des elektrischen Feldes sich von Elektrode zu Elektrode bewegen, len Transport der Elektrizität ermöglichen. Viel später wurde ert, daß die Kolloide ebenfalls hierzu befähigt sind. Sie scheiden n den verschiedensten Formen ab, auch als Pulver und Gallerte. Nach den vorhergehenden Erklärungen ist leicht einzusehen, daß lektrostatische Feld der kolloidgelösten Stoffe leicht zu stören ist, freie Ionen zugeführt werden. Je nach dem Grade, wie die dis-Phase an ihrer Oberfläche eine „Adsorption" erleidet, findet eine oder weniger starke Ausfällung statt, die mehr oder weniger rolytteile enthalten kann. So kann sich sogar bei der Adsorption Umkehrung der Polarität vollziehen. Die positiven Wasserstoff- und die negativen Hydroxylionen zeichnen sich durch eine große de Kraft aus, β-Strahlen bringen positiv geladene Kolloide zur ıeidung.

Bei den Prozessen, wo unter einem angelegten Potentialgefälle ənsionen und kolloidal gelöste Teilchen Träger und Brücken für die rizität sind, wurde festgestellt, daß die Faradayschen Gesetze Kraft treten, die Elektrizitätsträger in wesentlich höherem Maße ort befördert werden und hohe Spannung bei geringer Entfer- der Elektroden die Wanderungen begünstigt. Dabei laden sich toffe von hoher Dielektrizitätskonstante in Berührung mit sol- von niedrigerer positiv. Wasser als Dispersionsmittel hat die e Dielektrizitätskonstante von 84 und begibt sich an die negative

In technischen Nichtleitern können unter elektrischem Potentialgefälle Bedingungen vorhanden sein, welche die Veranlassung sind, daß durch die Reaktionen der suspendierbaren und kolloidalen Stoffe das Dielektrikum zerstört wird. Oft spielen sich diese Vorgänge äußerst langsam ab, in anderen Fällen sehr schnell. Nebenher verlaufen im allgemeinen noch elektrolytische Wanderungen.

IX. Feste Körper in dielektrischer Beziehung.

Der Transport der Elektrizitätsmasseteilchen in Flüssigkeiten gestaltet sich, wie aus den vorigen Ausführungen ersichtlich ist, vielseitiger, wie er in Gasen verläuft, obwohl zwischen Flüssigkeits- und Gasdurchgängen doch mancherlei Ähnlichkeiten bestehen, wie z. B. die gasförmigen Entladungen.

Bei der elektrischen Durchdringung von festen Körpern treten weitere Mannigfaltigkeiten hinzu. Gerade in neuester Zeit hat man diesen Vorgängen eine große Aufmerksamkeit gewidmet. Eine allseitig anerkannt dastehende Gesetzmäßigkeit, welche die Art und den Verlauf des Elektrizitätsdurchgangs regelt, konnte aber bisher nicht aufgefunden werden. Dagegen besitzen wir eine ganze Menge verschiedener Ansichten, wie der elektrische Durchbruch durch einen festen Nichtleiter stattfindet.

Ein technisches Dielektrikum ist keine einheitliche Substanz, sondern enthält vielerlei verschiedenartige Bestandteile in mehr oder weniger winzigen Ausmessungen in sich eingeschlossen. Infolgedessen stellt sich ein solcher Nichtleiter dar als eine Hintereinanderschaltung von Stoffen, deren jeder eine ihm eigentümliche spezifische Leitfähigkeit und Dielektrizitätskonstante besitzt. Schon der Umstand, daß z. B. bei Preßlingen oder geschichtetem oder naturgewachsenem Material feste Stellen mit weniger festen abwechseln, bedingt eine Änderung des Verhältnisses von spezifischer Leitfähigkeit zur Verschiebbarkeit (Dielektrizitätskonstanten).

Am stärksten ist aus leicht übersehbaren Gründen der Einfluß eines Potentialgefälles auf einen isolierenden Körper, wenn die dielektrisch gefährlichsten Einschlüsse, Luft und Feuchtigkeit, wirksam werden. Die Feldstärken in den Bestandteilen des Nichtleiters ändern sich im umgekehrten Verhältnis der Größe ihrer Dielektrizitätskonstanten. Die Gefährlichkeit eines stark uneinheitlichen Isolierstoffes ist daher außerordentlich groß.

Daß der Wert, welchen man für die Durchschlagsfestigkeit eines Nichtleiters anzusetzen hat, von der Zeit der Einwirkung des elektrischen Feldes auf das Dielektrikum abhängt, ist längst bekannt. Wenn daher teilweise noch die Vorschrift besteht, daß als solcher diejenige Potentialdifferenz zu gelten hat, bei welcher nach 1 Minute der Nichtleiter durchschlagen wird, so ist dies willkürlich. Es ist durchaus nicht der Fall, daß die diesem Wert angenäherte Spannung dauernd vom Isolierstoff ertragen wird. Es kommt hier in hohem Maße auf

allen festen Körpern entstehen beim Durchgang von Wechsel-
mehr oder weniger die sog. dielektrischen Verluste, welche den
nzen und dem Quadrat der anliegenden Spannung proportional
[e homogener der Nichtleiter ist, um so geringer sind diese Ver-
leshalb sind sie direkt ein Kriterium der richtigen Fabrikation.
i steigenden Frequenzen wird die Erwärmung des Dielektrikums
Daher findet die Zerstörung des Isoliermaterials durch die
ng mit hohen Frequenzen innerhalb kürzerer Zeit statt, als
ie Frequenzzahl niedrig ist. Die Dielektrizitätskonstante ist fast
ngig von der Frequenz. Nur bei großen Verlustwinkeln und hohen
nzahlen ist ein Nachgeben festgestellt. Faserstoffnichtleiter
hohe Verlustwinkel aufzuweisen, weil sie hinsichtlich ihrer
enität zu wünschen übrig lassen.

Gasen und Flüssigkeiten treten dielektrische Verluste, wie
schon angegeben ist, nicht auf, die Temperaturerhöhung einer
keit durch den Strom geschieht ausschließlich durch Wärme,
n nach dem Jouleschen Gesetz bildet.

rden feste Körper schmelzflüssig gemacht, verschwindet die
nung der Rückstandsbildung.

solut leitunfähig ist kein isolierender fester Baustoff der Elektro-
, sondern es sind stets Elektrizitätsträger im Material vorhan-
lche eine Strömung ermöglichen. Je besser das Dielektrikum
so verschwindender gestaltet sich der elektrische Durchgang.

ter dem Druck des Potentialgefälles verläuft der Stromtrans-
Sinne der günstigsten Wege, es geht also durch diejenigen Teil-
s Isoliermaterials, welche eine höhere spezifische Leitfähigkeit
eine größere Strommenge hindurch, während der Spannungs-
t sinkt. Infolgedessen entstehen im Isolierstoff Teilchen ver-
ner Temperatur. Solange die Stromwärme im vollen Umfang
ßen abgeleitet wird, ist deren Einfluß ziemlich belanglos. Stellt
. ansteigendem Elektrizitätstransport heraus, daß das Nicht-
terial an irgendwelchen Stellen nicht mehr in der Lage ist, die
rzeugte Wärme an seine Umgebung zu übertragen, so bedeutet
n sicheren Beginn der stofflichen Vernichtung durch den elek-
Strom. Denn durch die einsetzende Temperaturerhöhung ver-
sich der Widerstand, die Folge dieser verminderten Ionen-
ist eine gesteigerte Ionenbewegung. Die vergrößerte Strom-
bringt aber wieder eine weitere Wärmezunahme mit sich, die
ch weniger abgeführt werden kann wie vorher. Das Ende ist
törung des Isolierstoffes durch elektrische Entladung.

vorher zum Ausdruck gebracht wurde, ist ein technischer
ter ein Sammelsurium von allen möglichen Bestandteilen, die
elektrischen Eigenschaften verschieden sind, aber auch in ihren
nen. Es entstehen auf diese Weise beim Elektrizitätstransport
nfolge Auswirkung von elektrischen Kräften als auch sekun-
emischer Reaktionen äußerst komplizierte Verhältnisse. Schon

den im einfachsten Fall ebene Metallplatten als Elektroden benutzt, so gelingt es nicht, diese so genau an den nichtleitenden Stoff anzulegen, daß überall dieselbe Felddichte vorhanden ist, im besonderen nicht an den Rändern der Elektroden. Ein anderes Dielektrikum, nämlich Luft, schiebt sich dazwischen. Hohe Felddichten, die durch die Form der Elektroden sowie die Ungenauigkeiten deren Oberflächen entstehen, stechen gewissermaßen — teils unter Glimmen — in den isolierenden Körper ein und bringen Schädigungen hervor, welche von da aus weiter um sich greifen.

Aber selbst wenn die Belastung des Isoliermaterials durch die Stromquelle ganz gleichmäßig erfolgt, müssen im Isoliermaterial selbst infolge dessen inhomogener Struktur elektrisch verschieden beanspruchte Teilchen entstehen. Das Dielektrikum wird also in ungeraden Linien durchflossen. In den aneinander lagernden Schichten wird der Spannungsgradient am größten, wo die kleinste Dielektrizitätskonstante ist. In einem durch *Joulesche* Wärme oder dielektrische Verluste erwärmten Nichtleiterteilchen bereitet sich eine Zersetzung des Stoffes vor, die meistens durch freigemachte Feuchtigkeit eingeleitet wird. Besteht das isolierende Material vorzugsweise aus anorganischen Stoffen, ist die Neigung zur Dissoziierung vorhanden, eine Ionenwanderung setzt ein. Je nach der Natur des Dielektrikums bilden sich ferner unter dem Einfluß der Feuchtigkeit Suspensionen und Kolloide. Diese beteiligen sich an der Wanderung. Kohlenwasserstoffe, besonders solche, welche aus niedrig siedenden Homologen zusammengesetzt sind, zerfallen. In lufthaltigen Teilchen entstehen Ozon und Salpetersäure, die in Wechselwirkung mit festen, flüssigen und dampfförmigen Materialteilchen treten, und helfen, die Vernichtung des Isolierstoffes zu vollenden.

Je gleichmäßiger ein Dielektrikum an Struktur ist, umsomehr wird das ganze zwischen den Elektroden befindliche nichtleitende Material unter Spannung erwärmt. Sind aber irgendwo im elektrisch belasteten isolierenden Körper dielektrisch ungünstige Stellen vorhanden, zieht sich der Hauptteil des Leitungsstromes unter Abwendung von den mehr homogenen Teilchen nach diesen Stellen hin und bohrt sich in einer Linie, die meistens kreuz und quer verläuft, den Durchgang. Man nennt diese Linie, welche verkohlte, feuchte und abgerissene Massepartikel zu enthalten pflegt, den Durchbruchskanal. Je dicker das durchschlagene Dielektrikum ist, um so deutlicher treten die gekennzeichneten Erscheinungen auf.

Die metallischen Elektroden, welche den Elektrizitätsfluß durch den isolierenden Körper übertragen, waren schon als Veranlassung von Schädigungen des Nichtleitermaterials charakterisiert. Ähnliche Verhältnisse entstehen aber nicht nur außerhalb, sondern auch innerhalb des Isolierkörpers, denn die Spitzenwirkung, z. B. durch Fasern, macht sich mehr oder weniger geltend. Wie hoch die örtlichen Temperaturen infolge gesteigerter Felddichte sind, ist uns unbekannt. Sie bleiben

ıen besitzen die Wirkung der Abdrosselung von Wechselstrom, so sich diesem ein Gleichstrom überlagert.

Wird ein isolierender Körper von außen her erwärmt, so sinkt lurch seine elektrische Festigkeit. Außerdem wird die Reaktions- ;keit der Stoffbestandteile begünstigt und die Ionenreibung er- :igt. Wahrscheinlich ist der eine Vorgang z. T. die Folge des anderen.

Bei seiner eingehenden experimentellen Beschäftigung mit dem .alten von Nichtleitern unter Spannung untersucht K. W. Wagner ,,physikalischen" Vorgang beim elektrischen Durchschlag von festen ıtoren.

Die Gebiete der Physik und der physikalischen Chemie sind sich en letzten Jahren überaus nahe gerückt, so daß sich die Grenzen c verwischen. In den hier vorliegenden Ausführungen liegt, wie n zu Anfang erklärt wurde, die Absicht vor, nicht die durch Mes- en an den Nichtleitern gefundenen Unterschiede zum Gegenstand Erwägungen über deren konstruktive Verwendbarkeit zu machen, ern festzustellen, was der Fabrikant von Isolierstoffen zur Er- ıng der Qualität des Nichtleitermaterials unternehmen kann. vorliegende Schrift richtet sich daher in erster Linie an den Che- ›r und Technologen, denn dieser befindet sich dem Physiker und .trotechniker gegenüber erheblich im Rückstand.

Der elektrische Durchschlag von Isolierstoffen ist deshalb hier so efaßt, daß er zu einem wesentlichen Teil durch chemische Re- ionen, Elektrolyse und Elektroosmose, hervorgerufen wird.

Mehrfach betont war bereits, daß ein ,,technisches Dielektrikum" ein ,,elektrisches Isoliermaterial" aus vielerlei Substanzen zu- nengesetzt ist. Teilweise wirken die in ihm vorhandenen Bestand- und Fremdkörper unter dem Einfluß des mehr oder weniger ken elektrischen Feldes aufeinander ein. H. H. Poole[1]) hat bereits festgestellt, daß durch hohe Felddichten eine vergrößerte Leit- ;keit zustande kommt. Durch die chemischen Umsetzungen, d. h. h die Elektronen- und Ionenbewegungen, entsteht Wärme. Die fähigkeit nimmt unter dem Druck des elektrischen Feldes weiter Die Reaktionen der Elektronen, Ionen, Molekeln und Stoffteilchen ;ern sich so lange, bis die Leitfähigkeit in den Durchbruch übergeht damit die Zerstörung des Nichtleiters durch die elektrische Energie ache geworden ist.

Es wird also zunächst die Annahme eines ,,vollkommenen" Di- ;rikums gemacht. Technische Dielektrika enthalten aber in diesem f von außerordentlich hoher Durchschlagsfestigkeit Fremdkörper ›schlossen. Bei dieser Auffassung ist nunmehr zu untersuchen, ie Fabrikation auch allen Voraussetzungen Rechnung getragen hat, aß unter der Stärke des zu erwartenden elektrischen Feldes che- he Reaktionen der Fremdkörper unmöglich werden.

Das elektrische Feld und seine Verteilung, Joulesche Wärme und .peraturerhöhung durch dielektrische Verluste, spezifische Leit-

fähigkeiten und Dielektrizitätskonstanten sind von diesem Gesichtspunkt aus lediglich maßgeblich für die Art und den zeitlichen Verlauf der chemischen Vorgänge. Das Verständnis chemischer Kreise wird erleichtert, und die Bedingungen zur Abstellung bisheriger Mängel an Nichtleitern treten deutlicher hervor. Im übrigen soll es auf keine strittige Frage von großer Bedeutung hinauslaufen, ob die Zerstörung eines Dielektrikums durch den elektrischen Strom „physikalisch“ oder „chemisch“ gedacht wird.

Legt man an einen Nichtleiter, welchen man zu den hygroskopischen rechnet, der also nach 24stündigem Liegen in Wasser oder Wasserdampf ungefähr 1—2 vH Feuchtigkeit aufnimmt, ein Potentialgefälle an, so ruft das elektrische Feld stellenweise Erwärmungen hervor, wenn nicht sogar innerhalb einer kurzen Zeit sofort ein Durchbruchskanal entsteht. Wasser, in reinem Zustande betrachtet, ist nichtleitend. Aber das Wasser ist die Vorbedingung für die Bildung von Ionen sowie elektroosmotischer Prozesse, welche die Veranlassung sind, daß es dem elektrischen Strom gelingt, in das Innere des Isolierkörpers vernichtend einzudringen. Dies hängt erheblich von den Mengen des Wassers ab, welche im Nichtleiterstoff enthalten sind, und außerdem von der mehr oder weniger dichten Struktur des Materiales, wofür später der experimentelle Beweis erbracht wird. Durchsetzung mit Poren, Nestern und Kanälchen sind feuchtigkeitsempfindlichen Isolierstoffen besonders gefährlich. Die spezifische Leitfähigkeit nimmt sehr schnell zu.

In hygroskopischen Materialien kann man unter elektrischer Belastung mitunter eine Verbesserung der Durchschlagsfestigkeit beobachten. Dies ist jedoch eine Täuschung. Die Stromwärme führt zunächst durch Verdampfung von Wasser zu einer Besserung der elektrischen Eigenschaften, welche aber nicht von langer Dauer ist. Der Durchschlag setzt dann bald ein.

Der Einfluß, welchen selbst Spuren von Wasser in Nichtleitern besitzen, ist erkennbar, wenn man die Durchschläge in Kohlenwasserstoffen wie Xylol, Benzin u. a., sowie in Transformatorenölen zum Vergleich heranzieht. Die unter gleichen Bedingungen angestellten Messungen zeigen völlig unübersichtliche Ergebnisse, wenn nicht zuvor die letzten Reste von Feuchtigkeit aus den isolierenden Flüssigkeiten entfernt sind. Der Grad der elektrischen Festigkeit ist also eine Funktion der chemischen Prozesse unter Einleitung und Beteiligung der Wasserionen. Das Elektrodenmaterial spielt in diesem Fall auch eine Rolle mit.

Gegenüber Gleichstrom besitzen feste Isolierstoffe, die verhältnismäßig rein sind, eine um ungefähr ein Fünftel größere Durchschlagsfestigkeit. Hohe Frequenzen setzen die Durchschlagsfestigkeit fester Körper im Gegensatz zum Verhalten isolierender Flüssigkeiten bedeutend herab. So läßt hochgespannter hochfrequenter Strom die elektrische Festigkeit von Glas bis auf ein Drittel sinken, bei Porzellan in ungefähr derselben Weise, bei Hartgummi auf die Hälfte

daß sie dabei eine merkliche Erwärmung zeigen. Unter diesen
ngungen können sie daher nicht als isolierendes Material betrachtet
en.

Viele anorganische Körper, die bei normaler Temperatur zu den
ı Nichtleitern zählen, versagen in der Wärme, weil ihre Ionenreibung
ındert wird. F. Haber[1]) hat bei Porzellan unter Anwendung von
ksilber-Elektroden festgestellt, daß es von 300° C an beginnt, ein
trolyt zu werden und bei seiner Spaltung und Wanderung den
ıdayschen Äquivalenzgesetzen zu entsprechen. Ebenso ist das
rolytische Verhalten der Gläser den Faradayschen Gesetzen
rechend von Warburg und Tegetmeier ermittelt. Rebbeck
Ferguson[2]) bestätigen, daß dies auch bei niedrigen Tempera-
ı zutrifft. Ein anorganischer Stoff, welcher bei erhöhter Tempera-
ınd sogar im Schmelzfluß eine hohe elektrische Festigkeit bewahrt,
chwefel. Ähnlich verhalten sich die organischen Stoffe Paraffin
Wachs.

Koks ist ein isolierender Körper, trotzdem in ihm freier Kohlen-
eingeschlossen ist, wie in den meisten nichtleitenden Hartpechen.
Erwärmung tritt im Koks eine Zersetzung ein, es bilden sich Wasser-
verbindungen und um 500° C herum stellt sich unter einem Po-
algefälle ein Strömen von Ionen ein. Frei gewordener Kohlenstoff
ligt sich an der Leitung.

Technisch wichtige Stoffe, die bei der Fabrikation von isolieren-
Baumaterial benutzt werden, sind Kohlenwasserstoffe und Harze.
e Arten dieser in Benzol und Alkohol löslichen Körper werden oft
h merkliche Mengen von Feuchtigkeit verunreinigt, welche aber
ınter hohem Potentialgefälle Schaden tun. Es ist dies ein Zeichen,
das Wasser hier nur schwierig Bestandteile findet, welche sich
ziieren lassen. Auch die Elektroosmose erleidet dadurch eine Ver-
rung.

Außer Wasser befinden sich noch Luftteilchen in Kohlenwasser-
en und Harzen eingeschlossen. Diese scheinen hier elektrisch ge-
icher zu sein wie Feuchtigkeitsreste. Bei manchen festen Harzen,
Fichtenharz, tritt frühzeitig der Zustand ein, daß im Innern
men sichtbar wird und sich dadurch die Zerstörung des Kolopho-
s vorbereitet.

Isolierkörper können in bezug auf ihre elektrische Festigkeit Unter-
de zeigen, welche durch die Richtung, wie sie beansprucht werden,
ıgt sind. Dies ist z. B. bei trockenen Hölzern der Fall. Es ist
Erscheinung erklärlich, weil die weichen Stellen eine geringere
rstandsfähigkeit gegenüber dem Strom haben. Infolgedessen be-
ıgt dieser den bequemeren Weg.

Geschichtete Nichtleiter, z. B. die aus lackierten Papierlagen her-
llten viel gebrauchten Hochspannungsmaterialien, sind ausschließ-
senkrecht zur Schichtung anzuwenden. In der Längsrichtung geht

die Durchschlagsfestigkeit stark herunter. Nur wenn die innere Papierlage mit Hilfe von isolierenden Bindemitteln behandelt ist, kann man eine Verarbeitung parallel zur Schichtung wagen.

Von erhitzten Kristallen, z. B. dem Kalkspat, ist bekannt, daß die Ionen-Leitfähigkeit des Materials je nach der Stromrichtung verschieden ist.

Je dünner die Nichtleiter sind, um so leichter ist es, die schädlichen chemischen Reaktionen zu unterbinden, weil wir bei der Fabrikation es besser in der Hand haben, die der elektrischen Festigkeit nachteiligen Bestandteile zu entfernen, insbesondere Luft, Wasser sowie Lösungsmittel. Wir gelangen dann in feinen Schichten zu einer sehr hohen elektrischen Widerstandsfähigkeit. So wurde z. B. bei einer Bakelitehaut Modifikation C von 0,005 cm Dicke erst bei 3500 V sinusförmigen Wechselstroms der Durchschlag erreicht. Dies entspricht rechnerisch 700000 V/cm, wenn ein linearer Verlauf der elektrischen Festigkeit im Material vorausgesetzt wird. Ein Isolierstoff, welcher bei 1 cm Dicke den eben genannten hohen Wert erreicht, ist bisher unbekannt.

Daß eine bessere Auswahl der chemischen Bestandteile, verbunden mit einer Verarbeitung, welche den dielektrischen Verhältnissen mehr wie wir es jetzt vermögen, Rechnung trägt, zu wertvolleren Nichtleitermaterialien führen wird, läßt sich übersehen.

Bisher ist angenommen, daß das elektrische Feld einige Zeit auf den isolierenden Körper einwirkt, ehe der Durchschlag erfolgt. In neuerer Zeit sind Nichtleiter, insbesondere Porzellan-Isolatoren und Hochspannungs-Hartpapiere, in Prüfanlagen, wie sie u. a. Koch & Sterzel A.-G. liefern, mit sog. Stoßspannungen untersucht. Es handelt sich hier um Beanspruchungen von jeweils rd. ein millionstel Sekunde, wobei die steilen Wellenfronten kurzfristig eine große Elektrizitätsmenge auf das Dielektrikum schleudern. Die Vorstellung des elektrischen Durchschlages als vornehmlich chemischer Vorgang ist hier schwieriger. Immerhin ist in Betracht zu ziehen, daß durch die hohe Stromdichte eine plötzliche starke Erwärmung und infolgedessen vergrößerte Zersetzung und verminderte Ionenreibung in den hintereinander geschalteten schädlichen Einschlüssen im Isoliermaterial zustande kommt. Wir kennen leider, wie schon ausgeführt wurde, die örtliche Erwärmung bei derartigen Zuständen zu wenig, um hier sichere Einblicke zu gewinnen. Porzellan ist bei höheren Temperaturen, wie vorher festgestellt ist, ein Elektrolyt, also ein vorzüglicher Stromleiter.

W. Rogowsky nimmt an, daß zweierlei Vorgänge den Durchschlag bewirken, nämlich außer thermischen auch rein elektrische.

Erwähnt sei, daß A. Günther-Schulze die Erscheinungen beim Funkendurchgang durch Isolierstoffe unterteilt. Er bezeichnet das Mindest-Potentialgefälle, bei dem die Entladung durch die im Material vorhandenen Ionen und Elektronen in einen sich durch Stoßionisation bis zur Funkenbildung selbst steigernden Elektrizitätstransport über-

xperimentelle Ermittelungen zur Erzielung elektrischer Festigkeit bei Herstellung technischer Nichtleiter.

or ungefähr 15—20 Jahren waren die Anforderungen, welche n der Elektrotechnik an Isolierstoffe stellte, wenig präzisiert und t bescheiden. Erst um jene Zeit herum fing man an, gezwungen die höher gehenden Betriebsspannungen, bei der Lieferung mte Bedingungen zu stellen. Statt Holz, Gestein, Kautschuk reten jetzt künstliche Isolierstoffe auf. Es war zunächst und Zeit nachher noch leichter gesagt wie getan, neue wirklich betriebs- e Nichtleiter zu fabrizieren, weil über dieses Gebiet fast nichts nt war, und man im übrigen sich unter Vernachlässigung der nischen Eigenschaften nur auf die Erzielung hoher Isolations- einstellte. Wohl hatte man mit dem Galvanometer die Leit- eit zu messen versucht, ebenso wurden zur Bestimmung der schlagsfestigkeit unzählige Angaben veröffentlicht, die sich da- unvorteilhaft auszeichnen, daß diese Ergebnisse sehr stark, oft ehrere hundert Prozent, voneinander abweichen. Heute wissen aß solche Ermittelungen nur dann Zweck haben, wenn die Ver- edingungen mit bekanntgemacht werden. Die Lehre von der ischen Festigkeit hat inzwischen große Fortschritte gemacht und er wichtige Aufschlüsse gegeben.

nter den damaligen Umständen, wo die Orientierung aus den n der Literatur versagte, half nur die empirische Forschung . Verfasser, welcher in jener Zeit Vorstand einer Gesellschaft e Herstellung elektrischer Isolierstoffe war, stellte deshalb weit- e Versuchsreihen an, um einen Einblick in die hier herrschenden annten Verhältnisse zu gewinnen. Noch heute sind diese Fest- gen hinreichend interessant und können als Beweis für die Zweck- keit des damaligen Vorgehens, teilweise sogar als Richtung dienen eitere Forschungen. Es soll deshalb darüber ziemlich ausführlich tet werden.

. Soweit ging damals die Erkenntnis schon, daß Kohlenwasser- , Harze, Asphalte u. dgl. als Bestandteile für die Fabrikation ischer Isoliermaterialien in Frage kommen konnten. Ferner e man sich die Erfahrungen bei der Anfertigung von plastischen n zunutze und sagte sich, daß zur Herstellung fester Körper stimmter Gehalt an Faser Vorteile bringt.

. Die Einrichtung zum Prüfen der Versuchskörper auf elektrische keit bestand aus einem Einanker-Umformer, welcher den Gleich- der Fabrikzentrale in Wechselstrom von 50 Per./s umwandelte us einem Öltransformator, Fabrikat Koch & Sterzel, welcher bis 5 kV hinaufging. Die Leistung betrug 6 kW. Das Voltmeter be- sich auf der Niederspannungsseite. Die Elektroden waren in den en Fällen eine kreisrunde 2 mm dicke Messingscheibe von 15 cm messer mit abgerundeten Kanten und eine Messingkugel von

Meistens wurde eine zylindrische eiserne Preßform von 10 cm Innendurchmesser benutzt, deren Wände 3 cm stark waren und Bohrungen für Öl enthielten, in welche Quecksilberthermometer zur Messung der Heiztemperaturen hineingebracht wurden. Der Druckstempel aus Stahl paßte mit dem unteren Ende in Länge von fast 1 cm genau in die Zylinderform hinein, war aber dann bis oben hin um 1 cm im Durchmesser verjüngt. Die Unterlage der Form bestand in einer ca. 3 cm starken kreisrunden Scheibe von 17 cm Durchmesser, aus welcher in der Mitte eine Erhöhung von 5 mm und 10 cm Durchmesser herausgedreht war, in die der Preßzylinder genau hineinpaßt. Eine Vorrichtung, welche nach Bedarf das Unterteil mit dem Zylinder verbindet, war noch vorhanden. Sie wurde aber sehr selten benutzt, weil kein Austreten von Masse stattzufinden pflegte.

Für Ausnahmefälle stand noch eine weitere Eisenform zur Verfügung, deren Wandung 6 cm stark war. Sie besitzt den Nachteil, daß sie sich schwer heizen läßt.

3. Zunächst wurden Faserstoffe ohne Zusätze auf ihre elektrische Brauchbarkeit als Isoliermittel untersucht.

a) Lufttrockener Asbest, wie er als Abfall auf den kanadischen Minen entsteht, mit Faserbündeln und feinen Fasern bis 2 mm Länge, einem Wassergehalt von 10 bis 17 vH, gibt unter dem hydraulischen Druck von 100 kg/cm² der Laboratoriumspresse — die Drucke wurden [illegible] en gelassen — eine feste runde Platte von 1 cm [illegible] che Isolierung war nicht vorhanden.

[illegible] das Doppelte, also auf 200 kg/qcm erhöht, so [illegible] ber die Widerstandsfähigkeit gegen den elek[illegible] zugenommen.

[illegible] zeigt sich auch noch bei stärkeren und ganz [illegible] mit einer hydraulischen Fabrikationspresse [illegible] Grenze der Eisenfestigkeit, auf die Preßmasse ausgeübt wurde. Auch diese schmutzigweiß aussehenden Asbestkörper besitzen trotz größter Zähigkeit kein nennenswertes elektrisches Isoliervermögen. Dem Durchgangskanal des Stroms entspringt reichlicher Wasseraustritt.

Bei den höchsten Belastungen der weichen Asbestmasse hatte sich sowohl im Druckstempel wie in der runden Unterplatte mehrfach eine Kalotte eingedrückt. Die Flächen wurden wieder eben gefeilt, später ließ das Eindrücken nach.

Lufttrockene Asbestabfälle haben also bei Behandlung mit sehr hohen Drucken keine auch nur mäßig isolierenden Körper ergeben. Deshalb wurde nunmehr untersucht, wie sich derselbe Asbest verhält, wenn ihm die schädlich erscheinende Feuchtigkeit entzogen ist. Die Fasern wurden dabei mehrere Stunden auf Temperaturen von 150° gebracht, die letzten Spuren von Wasser konnten aber nicht entfernt werden. Pressungen dieser Masse mit 100 kg/cm² liefern Platten, welche unter Austritt von Wassertröpfchen sofort stromdurchlässig sind. Bei Anwendung von höheren Drucken bis zum Maximum von

rper bis zu 10 Minuten Zeit brauchen, ehe 2—10 kV den Durchgang wingen. Die Werte streuen erheblich.

Asbestabfälle wurden dann bei Rotglut erhitzt und heiß in vorärmter Form mit hohen Drucken zusammengepreßt. Das Material te aber durch die Vorbehandlung gelitten, indem Hydratwasser ausreten war. Also eine chemische Veränderung des Stoffs war vor ı gegangen ist. Die elektrische Prüfung verlief wieder negativ.

Aus den Versuchen läßt sich erkennen, daß die benutzten Asbestrn unter den stärksten Pressungen weder lufttrocken noch künst- getrocknet einen wirklichen Nichtleiter zustande bringen. Nach den chauungen, wie sie in dem vorhergehenden Kapitel zum Ausdruck racht sind, läßt sich schließen, daß die außerordentlich spitzigen nigen Fäserchen im Innern hohe Felddichten zur Folge haben und erhebliche den Wechselstrom gleichrichtende Wirkung ausüben, er daß die teilweise nur geringfügige Feuchtigkeit mit den Mineralandteilen, vorzugsweise Magnesiumcalcium - Silikaten, die Ionenung ermöglicht und die Stromwärme schnell anwachsen läßt. zu kommt, daß die Asbeste und ihre Verunreinigungen infolge ihrer ıktur noch wesentliche Luftmengen eingeschlossen enthalten.

b) Eine weitere Reihe Pressungen wurden in der Weise hergestellt, an Stelle von Asbest Sägemehl trat, und zwar solches von Weich- wie von Hartholz. Es war in Erwägung gezogen, daß dieses billige dukt die Asbestfasern ersetzen könnte, obwohl man hier eigentlich Fasern nicht reden kann.

Das Ergebnis in mechanischer Hinsicht war ungünstig, weil sich emehl weniger gut zu mechanisch gleichmäßigen Körpern versen läßt als Asbest. Die zertrümmerten Holzbestandteile besitzen t die Neigung wie Asbest, in ihrer zusammengedrückten Lage zu ben, sondern sie richten sich wieder auf und quellen. Die Stellen, der elektrische Strom durch die Preßlinge aus lufttrockener Holzlmasse und auch aus solcher, welche bei 110° C getrocknet wurde, lurchgeht, schwitzen Wasser aus und sind teilweise angekohlt.

Wesentliche Unterschiede im Verhalten von Hart- wie Weichholz den nicht festgestellt.

Der Versuch, Holzmehl höherer Hitze auszusetzen, wurde aus nden der Zersetzung fortgelassen, ebenso bei der folgenden Versreihe.

c) Weiter ist das Fasermaterial Torf, welches dielektrisch gute nschaften zu haben schien, in derselben Weise wie Asbest und zmehl behandelt. Unter den verschiedenartigen Massen, welche r dem Namen Torf auf den Markt kommen, wurde ein Gemisch gleichen Teilen von schwarzem Hochmoortorf und braunem feinrigen Niederungsmoortorf ausgewählt, gut lufttrocken gemacht und ıahlen.

Die lufttrockene Masse zeigt nach der Pressung ein schönes ebenartiges Aussehen und ist je nach der Höhe des angewendeten Preßkes sehr fest. Die Bearbeitung mit Stahlwerkzeugen geht zunächst

Wärmeleitunfähigkeit örtliche Erhitzung entsteht und schließlich sogar Funkenbildung eintritt, z. B. beim Sägen und Drehen. Die Bohrer werden leicht unbrauchbar.

Das lufttrockene Material, mit 100 kg/cm² in 1 cm starke Scheiben gepreßt, läßt sich noch mit 10 kV durchschlagen. Werden aber 200 kg/cm² Preßdruck benutzt, gelingt dies selbst mit 50 kV nicht mehr.

In einem mit Dampf geheizten Ofen wurde ein Teil der lufttrockenen staubförmigen Torfmischung, welcher man äußerlich keinerlei Feuchtigkeit ansieht, einem weiteren Trocknungsprozeß unterworfen. Dadurch geht der Wassergehalt von 8—10 vH herunter auf weniger als 1 vH. Diese Trockenmasse ist in der Preßform einem Druck von 100 kg/cm² ausgesetzt und die daraus entstehende Scheibe von 1 cm Stärke unter Transformatorspannung gebracht. Sie hält dauernd 65 kV aus.

Dieses Verhalten dient als Beweis dafür, daß der Feuchtigkeitsgehalt hier von Einfluß ist.

Man kann sich die Verhältnisse unter Spannung folgendermaßen vorstellen: Im Falle des niedrigen Preßdruckes reichen 8 vH Wassergehalt hin, daß die durch örtliche hohe Felddichte entstandene Erwärmung eine Auflockerung und Aufblähung erst kleiner Teilchen hervorruft und die Zerstörungsarbeit dann weiter ins Innere überträgt. Diese Befähigung der vorhandenen Wassermenge kann durch das Stärkerwerden der Zusammenpressung der Masse abgeschwächt und schließlich ganz unterbunden werden. Sind nur Spuren von Wasser im Preßling vorhanden, so werden sie in dem Falle den Preßkörper unter hohem Potentialgefälle zerstören, wenn die Möglichkeit der Ionenbildung besteht. Hierfür sind aber die Bedingungen im Gegensatz zu Asbest nicht vorhanden, da das Übermaß an organischen Substanzen nicht elektronenfreundlich ist.

Einer künstlich entfeuchteten Torfprobe, die Anspruch auf hohe elektrische Festigkeit erheben konnte, wurden 2 vH feingepulvertes ausgetrocknetes Kochsalz innig zugemischt, das Ganze dann bei 800 kg/cm² Druck zusammengepreßt. Unter 10 kV Spannung dauerte es einige Minuten, dann erfolgte der Durchschlag unter Absonderung einer klebrigen Flüssigkeit.

Die geringe Menge des leicht dissoziierbaren Chlornatriums hat unter der Wirkung von Feuchtigkeitsspuren dem elektrischen Strom den Weg durch den Preßling geöffnet.

Um die Einwirkung der Luftfeuchtigkeit sowie das Lagern in Wasser auf die elektrisch isolierenden Torfpreßlinge festzustellen, wurden sie 24 Stunden entsprechend behandelt. Es traten bei allen Körpern Risse auf, die Masse erweicht, z. T. platzen die Proben schichtenweise auseinander.

Die angefertigten Asbestpreßlinge wurden ebenfalls in Wasser gelegt. Sie nehmen einige Prozente davon auf, behalten aber im großen und ganzen ihre Gestalt.

Da im Torf beim Trocknen und Erwärmen chemische kolloide

g/cm² Druck standen, auf 140° erwärmt. Die hohe elektrische
keit ist geblieben, aber zugleich die Empfindlichkeit gegen
te Einschlüsse, welche jede technische Verwendung ausschließt.
. Deshalb wurde jetzt versucht, die Faserstoffe mit isolieren-
Körpern zu verarbeiten, welche kein Wasser aufzunehmen ver-
n und auch dann, wenn sie der Feuchtigkeit ausgesetzt waren,
eine erhebliche elektrische Festigkeit zeigen.
ls solche Zusätze werden benutzt: künstliche und natürliche
lte, Schwefel, fossile und rezente Harze u. dgl. Die Werte der
schlagsfestigkeit dieser Körper sind im trockenen Zustand wie
der Lagerung im Wasser hoch, wenn auch untereinander verschie-
Sie lösen sich z. T. in Benzol, Toluol, Schwefelkohlenstoff, Al-
u. a. Im Erweichungspunkt zeigen sie wesentliche Unterschiede.
s läßt sich bereits auf Grund der vorherigen Versuche voraus-
, daß die Asbestfaser den beiden anderen Stoffen Holzmehl und
gegenüber derartig große Vorteile besitzt, daß die letzteren nur
in Ausnahmefällen mit geprüft wurden.
) Um die Asbest-Abfallfaser gut mischen zu können, war sie nicht
im reinen Zustand zu verwenden, sondern sie wurde mit dem
bis Dreifachen ihres Gewichtes oder in noch größerem Verhältnis
ehlfein gepulverten Mineralien, z. B. Flußspat, Quarzpulver u. a.,
tzt.
) Der Höchstgrad einer guten Vermischung der drei Bestandteile
t und Quarzmehl mit wasserabweisenden Mitteln, wie z. B. Hart-
n und Harzen, geschieht in der Weise, daß Hartpeche bzw. Harze
em Lösungsmittel wie 80er Benzol gelöst und mit der Faser und
Füllmittel zu einem flüssigen Schlamm angesetzt werden, dem
nach Durchrührung dann durch ein Abtreibeverfahren das Lö-
mittel wieder entzieht.
) Wie aus den vorhergegangenen Versuchen entnommen werden
, wird Asbest unter einem Potentialgefälle schon angegriffen,
auch nur Spuren von Wasser in ihm vorhanden sind. Nach
ewöhnlichen Trockenmethode, auch bei Benutzung von Luftleere,
e hier notwendige Entfeuchtung nicht hinreichend, weil die Fäser-
das Wasser im Innern festhalten und die entfeuchteten Spitzen
Liegen an der Luft sofort gierig neue Feuchtigkeit aufsaugen. Ein
ames Mittel, den Fasern ihre Feuchtigkeitsspuren zu entziehen,
ht darin, sie in Lösungsmitteln, die kein Wasser aufnehmen, wie
Benzol, auszukochen. Das abgetriebene Benzol enthält dann die
r Asbestfaser vorhanden gewesene Feuchtigkeit am Boden des
ienten abgesetzt, da Wasser schwerer ist. Diese Methode des
nens konnte mit der des guten Vermischens vereint werden. Es
lso zweierlei wichtige Forderungen für die Herstellung von Isolier-
n erfüllt, nämlich die Entfernung der Wasserreste aus dem Faser-
rial und natürlich auch aus dem feingepulverten Füllmittel, ebenso
len Bindemitteln, denn diese können Feuchtigkeit einschließen.
r wird erreicht. daß in die Ausgangsstoffe an Stelle der Feuchtig-

1 cm Dicke, trocken wie nach Wasserlagerung, bei Herstellungsdrucken von 100 kg/cm² bis zu 6000 kg/cm² hinauf mit der höchsten verfügbaren Spannung von 65 kV nicht mehr durchschlagen.

i) Bei gewöhnlicher Temperatur zeigen diese Nichtleiter der Elektrizität sehr gute Eigenschaften, sie sind fest und zähe. Ihre Bearbeitung mit Werkzeugen ist gut. Der Flammbogen hinterläßt eine leitende Bahn. Sie sind aber wenig ölbeständig und erweichen schon unterhalb 100° C. Infolgedessen sind ihrer technischen Verwendung Schranken gesetzt.

5. Faßt man die Ergebnisse aller Versuche zusammen, läßt sich daraus schließen:

Asbestfaser kann ein brauchbares Material für technische elektrische Nichtleiter abgeben. Künstlicher Asphalt oder Hartpech ist, dielektrisch betrachtet, als Bindemittel von Isolierstoffen einer bestimmten elektrischen Festigkeit brauchbar. Quarzsand gibt in feinverteiltem Zustande ein geeignetes Füllmaterial ab. Die drei genannten Körper können aber nur in dem Fall zu einem zuverlässigen Dielektrikum verarbeitet werden, wenn dabei die Bedingungen erfüllt sind, wie sie aus den vorher beschriebenen Versuchen hervorgehen.

6. Im Anschluß hieran ist noch ermittelt, wie sich die Preßlinge verhalten, wenn statt Hartpech sog. amerikanisches Fichtenharz oder Kolophonium verwendet wird. Da sich hier keine nennenswerten Unterschiede ergeben, brauchen diese Untersuchungen nicht im Einzelnen aufgeführt zu werden. Fichtenharz bildet, wie Hartpech, ein wertvolles isolierendes Bindemittel. Gewonnen wird es bei der Destillation von Terpentin, bei welcher es als eine mehr oder weniger durchsichtige geschmolzene in Benzol lösliche Masse hinterbleibt, der Hauptsache nach aus Abietinsäure bestehend.

7. Die Fortführung der Untersuchungen nach der Richtung hin, wie sich die elektrische Festigkeit der Preßlinge noch weiter steigern läßt, erschien interessant und technisch bedeutungsvoll, wenngleich damals noch keine erhebliche Nachfrage nach Hochspannungsisolatoren vorhanden war.

Deshalb wurde der schon beschriebene Weg weiter verfolgt, nämlich die drei Ausgangsstoffe für Nichtleiter: Faser, isolierendes Bindemittel und Füllmaterial noch sinngemäßer auszusuchen und ihre Verarbeitung zu Preßlingen noch sorgfältiger den erkannten Bedingungen anzupassen.

Der Abfallasbest wurde daher durch eine feingesponnene Faser ersetzt, welche ganz rein, fest und mehr wie doppelt so lang ist wie die bisher benutzte. Es war nicht möglich, den bisherigen Prozentsatz von 30 vH beizubehalten. Das Quarzmehl an sich wurde weiter benutzt, aber in einer Feinheit, welche drei Viertel seiner Masse durch ein Bronzesieb von 10000 Maschen pro cm² hindurchläßt. An Stelle von Pech treten härtere und reinere fossile Asphaltsorten, wie Trinidadasphalte, vor allen Dingen Gilsonite. Erstere erweichen bei ungefähr

Die Preßmasse wurde meistens zusammengestellt aus 5 vH kar-
rter Asbestfaser, 15 vH fossilem Asphalt und 80 vH Quarzmehl.
›se Mischung läßt sich noch gerade, wenn auch schon mit Schwierig-
.ten, verarbeiten.

Um die letzten Spuren von Feuchtigkeit aus dem Ansatz zu ent-
nen, wird so vorgegangen, daß nach der Abtreibung des Lösungs-
ttels der trockene heiße Rückstand nochmals mit wasserfreiem Benzol
reichlichem Maße getränkt und aufgeweicht wird. Durch erneute Ab-
ibung im Vakuum bei fortgesetztem Umrühren wird das Benzol wie-
: entfernt. Dieses Verfahren kann man auch noch ein drittes Mal
›derholen.

Wir haben es hier mit einer sehr zähen und harten Masse zu tun
olgedessen können nur kleine Mengen in wirklich quantitativer Weise
feuchtet werden. Es ist unmöglich, aus diesen zähen und faserigen
ıichten, wenn sie einigermaßen dick sind, die letzten Wasser- und
nzolreste zu entfernen. Es entstehen dann unter allen Umständen
›se Nester.

Auch die in kleinen Mengen durch mehrmaliges Destillieren in der
:ne gewonnenen Preßmassen bedürfen noch nach dem Grobzerklei-
:n der Absaugung bei Hitze und Luftleere.

Nicht verschwiegen soll werden, daß das mehrmalige Zerkleinern
: Masse, um sie absaugungs- bzw. preßfähig zu machen, der mecha-
chen Festigkeit schadet. Es ließ sich aber hier kein Weg finden,
Faser ganz unversehrt zu erhalten.

b) Die Anwendung von Bindemitteln mit Schmelzpunkten bis zu
)° C macht es natürlich erforderlich, daß die Preßform, während sie
ter Druck steht, bis auf rund 250° C zu erwärmen ist. Auch die Preß-
ıcke sind zu erhöhen.

c) Um mit der vorhandenen Hochspannungsanlage noch orien-
rende Prüfungen vornehmen zu können, sind die Preßlinge nicht
hr wie bisher in einer Dicke von 1 cm angefertigt, sondern nur noch
-3 mm stark gemacht. Es zeigt sich, daß solche Scheiben, wenn sie
t Drucken von 100 kg/cm² und 200 kg/cm² hergestellt waren, bei
· elektrischen Belastung sofort durchschlagen, weil sie im Innern
:ös sind. Erst höhere Preßdrucke, ungefähr von 3—500 kg/cm² ab,
ern Prüfkörper, die in Stärken von 2 und 3 mm trocken wie auch
ch Wasserlagerung dauernd einem Potentialgefälle von 65 kV wider-
hen. Bis zu Temperaturen von ca. 200° behalten sie ihre mecha-
che Festigkeit, sind äußerst zähe und mit Stahlwerkzeugen bear-
tbar. Das spez. Gewicht liegt um 2,2 herum. Eine Wasseraufnahme
ınte nicht festgestellt werden.

XI. Weitere Erörterungen über elektrische Festigkeit und Rohstoffprüfungen.

Die im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen experimentellen
beiten zeigen, wie man empirisch Einblicke in die Beziehungen ge-

Isolierstoffes einerseits und seiner Bestandteile sowie deren Umwandlung in einen technischen Nichtleiter andererseits bestehen.

Vor allen Dingen muß man sich abgewöhnen, Parallelen mit der uns geläufigen mechanischen Festigkeit der Körper zu ziehen, denn die Wirkung eines elektrischen Potentialgefälles auf einen Isolator stellt, wie wir annehmen wollen, einen chemischen Prozeß dar. Wandstärken spielen deshalb bei Dielektrizis eine verhältnismäßig geringe Rolle,

1. Bei der Fabrikation aller isolierenden Stoffe hat man sich über die Frage schlüssig zu werden: Mit Hilfe welcher Ausgangsmaterialien und durch welche Art deren Verarbeitung wird es gelingen, in den herzustellenden Nichtleitern sowohl eine von außen einsetzende Änderung in den Elektronenbeziehungen als auch eine im Innern entstehende Elektronenwanderung unmöglich zu machen, und zwar bei denjenigen Spannungen, welche die Isolierstoffe aushalten sollen.

Den größten Beitrag, hier Entscheidungen zu treffen, hat die Chemie zu liefern. Dabei ist die Stärke des Angriffs, welchen die elektrischen Kräfte auf den Stoff oder auf Teile desselben ausüben, aus den Lehren von der elektrischen Festigkeit zu entnehmen. Man erkennt hier schon, daß die Konstruktion der elektrischen Apparate und Anlagen, z. B. durch die Form der Leiter, mit verantwortlich ist für die Betriebssicherheit der verwendeten isolierenden Baumaterialien.

2. Dem Einfluß von Luft und Wasser im Gefüge der Nichtleiter kommt besondere Aufmerksamkeit zu, wie dies früher unter Berücksichtigung der weit auseinanderliegenden Dielektrizitätskonstanten sowie des chemischen Verhaltens betont ist. Bei Erörterung der vorliegenden Fragen liegt es nahe, zu untersuchen, welches wohl die elektrisch festesten Körper sind. Dabei greift man zuerst zu den natürlichen Asphalten, Kohlenwasserstoffen, Harzen, Schwefel u. dgl., also den bekannten Bindemitteln. Der Verfasser hat solche nichtleitenden Stoffe entweder in dünne Scheiben umgeschmolzen oder dickere Scheiben in dünne zersägt, deren Oberfläche dann glatt poliert wurde. Es hat sich dabei aber nicht ergeben, daß außergewöhnlich hohe Durchschlagswerte erzielt wurden, insbesondere nicht solche, die gleichmäßig ausfallen. Die Zahlen weichen sogar stark von einander ab. Untersucht man die elektrisch geprüften Materialien mit dem Mikroskop, läßt sich häufig erkennen, daß die Erstarrung aus der Schmelze zu keinem homogenen Zustand geführt hat, ferner, daß größere und kleinere Gaseinschlüsse vorhanden sind.

Luftblasen können im Dielektrikum zwei ganz verschiedene Wirkungen auslösen. Durch Erwärmung und Erstarrung der Schmelzkörper entstehen luftverdünnte Räume. Wie früher bei dem Verhalten der Gase unter elektrischem Potentialgefälle auseinandergesetzt wurde, ist verdünnte Luft, je nach ihrem Evakuierungsgrad, kein Nichtleiter mehr, sondern das Gegenteil davon, nämlich ein Leiter. Befinden sich also im Isoliermaterial mehr oder weniger bedeutende Einschlüsse von verdünnter Luft, so entsteht eine gefährliche Art ...

r, daß sie erhebliche Feuchtigkeitsmengen einschließen. Auch die len sind nicht ganz frei hiervon.

Für die Verwendung unter hohen Spannungen bedürfen die Bindeel daher einer entsprechenden Aufbereitung. Das Wasser verläßt Massen nur schwer. Es befindet sich darin meistens in Form feiner elchen, welche in diesem Zustand bedeutend überhitzt werden kön- Deshalb ist erforderlich, zur Vertreibung der Wasserreste Temperen von ungefähr 150° C anzuwenden. Die vorzeitig flüchtigen Bedteile, sofern solche vorhanden sind, werden dann mit entfernt. Es teht allerdings die Gefahr, daß durch Erhitzung die Bindemittel nische Umwandlungen erfahren. Sind diese schädlicher Natur, iden derartige Massen aus.

3. Bei der Verarbeitung von isolierenden Bindemitteln zu Nichtrn unter Benutzung von Faserstoffen, wie Papier, Asbest u. a. hat den Schmelzpunkt zu kennen. In vielen Fällen gewinnt man aber besseres Bild von den Asphalten und dergleichen, wenn man die Penetration bestimmt. Dies geschieht nach mehreren gut ausbeiteten Methoden, indem festgestellt wird, wie eine belastete Nadel e Prüfsubstanz eindringt, also ähnlich wie man die Abbindung des ents mit der Vikatschen Nadel verfolgt.

4. Um die Kohäsion, die innere Klebkraft, der Bindemittel festellen, dient die Untersuchung auf Duktilität. Es ist dies die Fähigder Masse, bei einer festgesetzten Temperatur einen Faden bemter Länge zu bilden. Ein brauchbarer Prüfapparat ist von Dow Smith vorgeschlagen.

5. Die Kenntnis von dem Grad der Verflüssigung oder der Visät geschmolzener Bindemittel ist von großer Wichtigkeit bei der ikation von Isolierstoffen. Denn es ist ausgeschlossen, feine Kanäle en Fasern mit Bindemitteln zu füllen, wenn das Schmelzmittel hinreichend dünnflüssig ist. Die Prüfung der Viskosität geschieht ilhaft in bekannter Weise nach Engler, wenn die Temperaturen zu hoch sind.

6. Die Wirkung der Feuchtigkeit in Isolierstoffen, wenn sie sich lektrischen Felde befinden, zeigt folgende Erscheinung. Es war aus Faser, Bindemittel und Füllstoffen bestehende Masse in der illationsblase von Benzol befreit und lag in grob gepulvertem Zule preßbereit vor. Durch die Undichtigkeit zwischen den Flan eines Dampfrohres sprühte Wasser in die Masse hinein. Infolge htsamkeit wurde diese trotzdem verarbeitet. Die spätere Unterng mit Hochspannung an den fertigen Isolierkörpern zeigt das chst überraschende Ergebnis, daß die elektrische Festigkeit nach Vasserbenetzung nur wenig nachgelassen hatte.

Einer absolut trockenen Preßmasse wurde jetzt absichtlich Feuchit zugefügt. Das Resultat der Prüfung änderte sich nicht. Die hschlagsfestigkeit war nur unbedeutend heruntergegangen. Es ist ein Beweis dafür, daß die mineralischen Bestandteile im Nicht-, wenn eine dielektrisch richtige Verbindung mit den isolierenden

ziierung bekunden, so daß eine Elektronenbewegung nicht zustande kommt.

Vom Schellack ist die interessante Tatsache bekannt, daß dieses hoch isolierende und durchschlagfeste Harz nach den Warburgschen Untersuchungen selbst bei einer beträchtlichen Feuchtigkeitsaufnahme keine Änderung des spez. Widerstandes zeigt.

7. Im vorhergehenden ist nur ein einziges Verfahren eingehend vorgeführt, um aus dreierlei Bestandteilen, nämlich Faser, Bindemittel und Füllstoffen einen Nichtleiter zu erhalten, welcher normalen und hohen Ansprüchen genügt. Bei den vielen anderen Arten von Isolierstoffen, welche die Elektrotechnik braucht, soll auf deren Herstellung nicht im einzelnen eingegangen werden.

Bei der Fabrikation aller dieser anderen Gruppen, seien es Hochspannungs-Porzellane, Mikanit-Produkte, Ausgußmassen, Lacke, Öle, Kabeltränkmassen oder irgendwelche anderen festen oder flüssigen Isolierstoffe, richtet man sich vorteilhaft nach den Erfahrungen, die man bei der Herstellung des Bindemittel-Preßlings sammelte und sucht sinngemäß unter Berücksichtigung der jeweiligen besonderen Verhältnisse die Ausgangsstoffe entsprechend umzuwandeln und in dielektrisch richtiger Weise zusammenzusetzen.

8. Gefühlsmäßig hatte man schon lange herausgefunden, daß sog. „reine" Isolierstoffe die besten sind, z. B. der natürliche Glimmer. Heute wissen wir, weshalb dies stimmt. Immer wieder kann nur darauf hingewiesen werden, daß die Bestandteile, aus denen der Nichtleiter entstehen soll, mechanisch gleichförmig sein müssen. Selbst mikroskopisch kleine aneinandergereihte Stoffteilchen betätigen ihre Wirkung unter dem Druck des elektrischen Feldes. Einschlüsse von abweichender Verschiebbarkeit und verschiedener Leitfähigkeit sind immer schädlich. An den Grenzflächen sammeln sich Ladungen. Es entstehen Ströme, die Zerstörung setzt ein.

Faserstoffe mit isolierenden Bindemitteln zu füllen, ist deshalb eine schwierige Sache, weil das Lösungsmittel auch nicht in Spuren in den Kanälen und Kapillaren sitzen bleiben darf. Dieses, sowie Luft, Wasserdampf und Zersetzungsprodukte, welche sekundär entstehen, sind zu entfernen. Die Schwierigkeit einer solchen Aufgabe, selbst wenn die modernsten Mittel zur Verfügung stehen, ist offensichtlich. Mitunter kann man im Laboratorium derartige Prozesse mit gutem Erfolge in kleinen Mengen durchführen. Im fabrikmäßigen Betrieb wird die Nachahmung in den meisten Fällen viel zu teuer und verbietet die Ausführung.

9. Deshalb sind an Stelle von fossilen Asphalten, welche sehr gute Nichtleiter ergeben, schon seit längerer Zeit die Phenolharze getreten. Sie besitzen sowohl elektrisch wie mechanisch als auch in technologischer Hinsicht gute Eigenschaften. Ihre Verarbeitung zu Hochspannungsisolierstoffen wird später besonders behandelt.

10. Während die elektrischen Eigenschaften des Hartgummis ausgezeichnete sind, versagt dieses Material in mechanischer Hinsicht. Die

gummi unter dem Einfluß des Lichtes. Es tritt dann eine erheb-
Oberflächenleitfähigkeit ein, die bei Wechselstrom höher ist wie
ıleichstrom. Mit Phenolharzen hergestellte Dielektrika sind den
gummifabrikaten in dieser Beziehung weit überlegen, vor allem
in der Wärmefestigkeit.

XII. Prüfvorschriften für Isolierstoffe.

Der Verband Deutscher Elektrotechniker hat auf Grund lang-
ger Arbeiten der Kommission für Isolierstoffe neue Prüfvorschriften
ine gekürzte Untersuchung von elektrischen Nichtleitern ver-
tlicht, welche von der Jahresversammlung 1924 genehmigt sind.

l. Die Physikalisch-Technische Reichsanstalt in Charlottenburg,
taatliche Materialprüfungsamt in Berlin-Dahlem und die Bayrische
esgewerbeanstalt in Nürnberg sind in der Lage, auf Antrag der-
Prüfungen vorzunehmen und darüber zu bescheinigen.

Der Wortlaut ist folgender:

Vorschriften für die Prüfung elektrischer Isolierstoffe.

Gültig ab 1. Oktober 1924[1]).

I. Allgemeines.

Die Untersuchung elektrischer Isolierstoffe erstreckt sich auf folgende
tlungen:

A. Mechanische und Wärmeprüfung.

. Biegefestigkeit.
. Schlagbiegefestigkeit.
. Kugeldruckhärte.
. Wärmebeständigkeit.
. Feuersicherheit.

B. Elektrische Prüfung.

. Oberflächenwiderstand.
. Widerstand im Inneren.
. Lichtbogensicherheit.

Probenform.

ür die Versuche sind Flachstäbe folgender Abmessungen anzuwenden:

Dicke	a =	10 mm
Breite	b =	15 „
ganze Länge	L =	120 „

ür die Untersuchung eines Isolierstoffes sind insgesamt:

A Mechanische und Wärmeprüfung: mindestens 30 Normalstäbe,
B Elektrische Prüfung: 12 Normalstäbe

erlich.

---

[1]) [illegible]

II. Versuchsausführung.

A. Mechanische und Wärmeprüfung.

1. Biegefestigkeit.

α) 5 Versuche mit dem Isolierstoff im Anlieferungszustand;
β) 5 Versuche nach 30tägiger Lagerung in Petroleum bei Zimmertemperatur.

Versuchsausführung bei Zimmerwärme nach Abb. 1. Die Kraft P greift in der Mitte zwischen den beiden Auflagern AA mit einer Druckfinne an, deren Abrundung $r = 10$ mm beträgt. Die Druckfinne ist so anzuordnen, daß sie sich freiwillig satt auf die Probe auflegt. Die Kanten der Auflager AA sind bei ϱ nach $r = 1$ mm zu brechen. Stützweite gleich 100 mm.

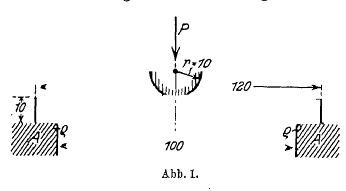


Abb. 1.

Für stoßfreie Belastung und einwandfreie Kraftmessung ist Sorge zu tragen. Ferner ist darauf zu achten, daß die Probe auf den Widerlagern AA satt aufliegt.

Die Belastung ist mit gleichmäßiger Geschwindigkeit, und zwar um 250 kg/cm² in 1 min, bis zum Bruch zu steigern.

Für die Feststellung der Gesamtdurchbiegung ist Ablesung am Millimeterstab hinreichend.

2. Schlagbiegefestigkeit.

α) 5 Versuche bei Zimmerwärme,
β) 5 Versuche in Kälte bei etwa -20^{0} C.
(Der Versuch β nur bei Stoffen, die im Freien verwendet werden.)

Die Schlagbiegeversuche sind mit einem Normalpendelschlagwerk auszuführen.

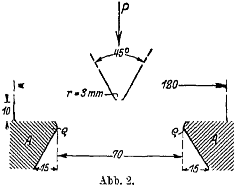


Abb. 2.

Die Schlagfinne soll einen Schneidenwinkel von 45° besitzen; sie ist nach $r = 3$ mm abzurunden.

Die Stützweite beträgt 70 mm.

Die Auflager AA müssen gemäß Abb. 2 nach einem Winkel von 15° hinterschnitten, die Auflagerkanten ϱ nach $r = 3$ mm abgerundet werden, damit die Proben unbehindert durch die Auflager gehen können.

Die Ergebnisse sind in cmkg/cm² anzugeben.

3. Kugeldruckhärte.

5 Versuche bei Zimmerwärme.

Eine Stahlkugel von 5 mm Durchmesser ($D = 0{,}5$ cm) wird mit einem konstanten Druck von 50 kg in die Probe stoßfrei eingedrückt. Gemessen wird die Eindrucktiefe h nach 10 und 60 s. Aus dieser wird der Härtegrad H in kg/cm² nach der Formel berechnet:

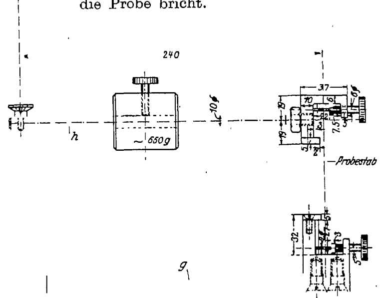
$$H = \frac{P}{\pi \cdot h \cdot D} = \frac{C}{h}.$$

4. Wärmebeständigkeit.

3 Versuche.

Die Wärmebeständigkeit ist durch die Martensprobe mit einem Normal-
‹at festzustellen.

Die in senkrechter Lage von der Grundplatte g (s. Abb. 3) fest-
tenen Proben werden durch angehängte Gewichtshebel h mit der konstanten Biegespannung $\sigma = 50$ kg/cm² belastet und langsam erwärmt. Die Geschwindigkeit der Temperatursteigerung soll 50° C in 1 h betragen. Ermittelt wird der Wärmegrad Ag, bei dem der Hebel h um 6 mm auf 240 mm Länge absinkt bzw. die Probe bricht.



Martensprobe zur Wärmebeständigkeitsprüfung von Isolierstoffen. Aufriß.

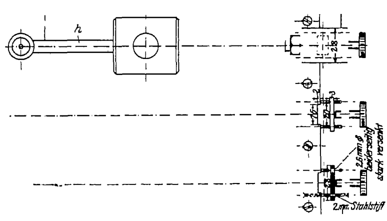


Abb. 3. Grundriß.

5. Feuersicherheit.

3 Versuche.

Ein wagerecht eingespannter Normalstab wird 1 min lang der Flamme
mit Leuchtgas gespeisten Bunsenbrenners ausgesetzt. Die Brenner-
ng soll 9 mm, die Flammenhöhe bei senkrecht gestelltem Brenner
ı betragen.

Brenneroberfläche und seine Stirnkante 1 cm in wagerechtem Abstand von der Brennerunterkante befindet (vgl. Abb. 4).

Das Verhalten der Isolierstoffe ist nach folgenden drei Stufen zu beurteilen:

1. Der Stab brennt nach dem Entfernen der Flamme länger als $^1/_4$ min weiter.
2. Der Stab brennt nach dem Entfernen der Flamme nicht länger als $^1/_4$ min. weiter.
3. Der Stab entzündet sich nicht in der Flamme.

Abb. 4.

B. Elektrische Prüfung.

1. Oberflächenwiderstand.

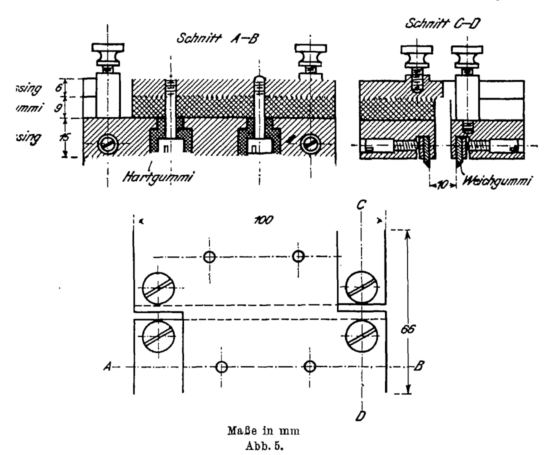
Der Oberflächenwiderstand wird gemessen auf einer Fläche von 10×1 cm bei 1000 V Gleichspannung:

α) im Zustand der Einsendung, jedoch nach Abschleifen der Oberfläche,
β) nach 24stündiger Einwirkung von Wasser;
γ) nach 3wöchentlicher Einwirkung von 25proz. Schwefelsäure,
δ) nach 3wöchentlicher Einwirkung von Ammoniakdampf.

Bei den Versuchen β bis δ wird die unter der Einwirkung der Flüssigkeiten und Gase etwa eintretende Gewichtsänderung in Prozenten ermittelt.

Zur Messung des Oberflächenwiderstandes werden zwei gerade, 10 cm lange, mit Gummi und Stanniol gepolsterte Elektroden einander parallel in 1 cm Abstand auf die Platte gesetzt (siehe den Normalapparat Abb. 5; das Schaltschema zeigt Abb. 6). Die eine Elektrode wird über einen Schutzwiderstand von 10000 Ω mit dem negativen Pol der Gleichspannung von 1000 V verbunden, deren positiver Pol geerdet ist; die andere Elektrode wird mit einer Klemme des Galvanometernebenschlusses verbunden, dessen andere Klemme an Erde liegt. Um Kriechströme von der Messung auszuschließen, ist die Zuleitung zum Nebenschluß und von da zum Galvanometer mit einer geerdeten Umhüllung zu versehen, z. B. als Panzerader auszuführen. Die Halteplatte der Elektroden ist zu erden, das Galvanometer und sein Nebenschluß sind auf geerdete Unterlagen zu stellen; die Empfindlichkeit des Galvanometers soll mindestens 1×10^{-9} A für 1 mm Ausschlag bei 1 m Skalenabstand betragen; durch den Nebenschluß ist die Empfindlichkeit stufenweise auf $^1/_{10}$, $^1/_{100}$, $^1/_{1000}$, $^1/_{10\,000}$ und $^1/_{100\,000}$ herabzusetzen. Ein Kontakt des Nebenschlusses dient ferner zum Kurzschließen des Galvanometers; zur Eichung des Galvanometerausschlages wird beim Nebenschluß $^1/_{10\,000}$ statt des Oberflächenapparates ein Draht-

nganindraht unifilar aufgewickelt und braucht nur auf 3 vH abgeglichen sein.) Der Schutzwiderstand besteht aus 0,1 mm starkem Manganin-



Maße in mm
Abb. 5.

ıt, der unifilar auf ein Porzellan- oder Glasrohr von etwa 6 cm Durchser und 50 cm Länge aufgewickelt ist, der Schutzwiderstand ist eben-

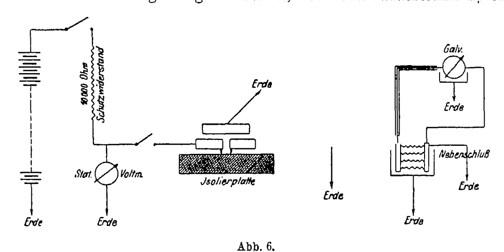


Abb. 6.

auf 3 vH genau abzugleichen. Ein statischer Spannungsmesser mißt Spannung hinter dem Schutzwiderstand.

Gang der Messung.

Bei geöffnetem Schalter zwischen Schutzwiderstand und Oberflächen-

Schalter zu dem Oberflächenapparat geschlossen; sinkt dabei die Spannung des Spannungsmessers unter 500 V, so beträgt der Oberflächenwiderstand des Isolierstoffes weniger als 10000 Ω; bleibt die Spannung über 800 V, so kann mit dem Galvanometer gemessen werden.

Die Ablesung des Galvanometerausschlages erfolgt 1 Min. nach dem Anlegen der Spannung.

Die Vergleichszahlen stufen sich folgendermaßen ab:

Oberflächenwiderstand	Vergleichszahlen
unter $^1/_{100}\,M\Omega$	0
1 bis $^1/_{100}\,M\Omega$	1
100 bis 1 $M\Omega$	2
10000 bis 100 $M\Omega$	3
1 Mill. bis 10000 $M\Omega$	4
über 1 Mill. $M\Omega$	5

Zu jeder Versuchsreihe sind drei Platten zu verwenden, an jeder Platte sind mindestens zwei Messungen vorzunehmen. Die zu dem Versuch β verwendeten Platten können zu dem Versuch γ weiter benutzt werden.

Zu β. Nach dem Herausnehmen aus dem Wasser werden die Platten mit einem Tuch abgerieben und senkrecht bei Zimmertemperatur in nicht bewegter Luft 2 h stehen gelassen, um die äußerlich anhaftende Feuchtigkeit zu entfernen. Danach wird die Messung vorgenommen.

Zu γ. Nach dem Herausnehmen aus der Schwefelsäure werden die Platten etwa 1 min in fließendem Wasser abgespült, danach wie unter β behandelt.

Zu δ. Die Platten werden in großen Glasgefäßen aufgehängt, auf deren Boden sich eine gesättigte wässerige Ammoniaklösung befindet, die Gefäße werden mit Glasplatten abgedeckt. Von drei zu drei Tagen wird etwas Ammoniak zugefüllt, um die Verluste am Ammoniakdampf zu decken. Nach dem Herausnehmen aus den Gefäßen werden die Platten nach Feststellung des Aussehens mit einem trockenen Tuch abgerieben und gemessen.

2. Widerstand im Inneren.

Zwei Löcher von 5 mm Durchmesser und 15 mm Mittenabstand sind in die Platte auf etwa $^2/_3$ der Plattenstärke tief zu bohren und mit Quecksilber zu füllen. Der Widerstand zwischen den beiden Quecksilberelektroden wird bei 1000 V Gleichspannung gemessen; ist dieser kleiner als der bei dem Versuch α ermittelte Oberflächenwiderstand, so ist die Platte bis in tiefere Schichten abzudrehen und unmittelbar nach dem Abdrehen auf ihren Oberflächenwiderstand zu messen.

3. Lichtbogensicherheit.

Die Platte wird wagerecht gelegt und zwei angespitzte Reinkohlen von 8 mm Durchmesser werden in einem Winkel von etwas mehr als einem rechten gegeneinander, etwa um 60° gegen die Wagerechte geneigt, auf die Platte gesetzt. An die Kohlen wird eine Spannung von etwa 220 V unter Vorschalten eines Widerstandes von 20 Ω gelegt. Nach Bildung des Lichtbogens zwischen den Kohlen werden diese mit einer Geschwindigkeit, die 1 mm in 1 s nicht überschreiten soll, auseinander gezogen. Dann werden folgende vier Stufen der Sicherheit gegenüber dem Lichtbogen unterschieden:

0. Unter dem über 20 mm lang ausziehbaren Lichtbogen bildet sich eine leitende Brücke im Isolierstoff, die auch nach dem Erkalten leitend bleibt.

1. Unter dem über 20 mm lang ausziehbaren Lichtbogen bildet sich eine leitende Brücke im Isolierstoff, die aber nach dem Erkalten ihre Leitfähigkeit verliert.

2. Der Lichtbogen läßt sich weiter als 20 mm ausziehen, es bildet sich aber keine zusammenhängende leitende Brücke im Isolierstoff.

terungen zu den Vorschriften über die Prüfung elektrischer Isolierstoffe.

Einleitung.

)ie Vorschriften erstrecken sich auf die Prüfung von Isolierstoffen in ders hergestellten normalen Formen. Diese Prüfung dient zur Beurtei- des Stoffes an sich, sie ist eine Materialprüfung. Die Festlegung nmter Prüfverfahren gibt die Möglichkeit, wesentliche Eigenschaften Isolierstoffes, obwohl sie nicht physikalische Konstanten sind, in luzierbarer Weise festzustellen und eindeutig anzugeben. Der Hersteller sich dadurch über die Güte seines Erzeugnisses und die Gleichmäßigkeit Herstellung Rechenschaft geben; dem Konstrukteur bieten die An- ι der Eigenschaften Anhaltspunkte für die Auswhl des für seine ze geeigneten Isolierstoffes.

)ie im Preßverfahren zu verarbeitenden Isolierstoffe ergeben aber in 'ertigen Isolierteilen für die spezifischen Eigenschaften Zahlen, ins- dere Festigkeitswerte, die von denen, die an Normalstäben und -platten em gleichen Stoff festgestellt werden, je nach der Formgebung des ːfenden Stückes und dem Herstellungsdruck mehr oder weniger ιtlich abweichen; auch werden an verschiedenen Teilen des gleichen rstückes verschiedene Zahlen gefunden. Die Untersuchung eines Isolier- s kann mithin nicht ohne weiteres dazu dienen, wie bei einem völlig genen Baustoffe zahlenmäßige Unterlagen für die Berechnung der ːentsprechenden Formen und Abmessungen eines Isolierteiles zu liefern Abnahmebedingungen für Isolierteile aufzustellen. Daher ist neben der ›rialprüfung an den Normalformen noch eine Prüfung des fertigen Iso- iles in der Verwendungsform, die Stückprüfung, notwendig, um ιstellen, ob sich der gewählte Isolierstoff in dieser Form bewährt. An ⊦rundlagen zu den Vorschriften für die Stückprüfung arbeitet die vom eingesetzte Untersuchungsstelle für fertige Isolierteile in Nürnberg.

Mit den vorliegenden Vorschriften für die Materialprüfung ist also nur 'eil der Gesamtaufgabe erfüllt. Die Vorschriften enthalten nur die .che, die zur Charakterisierung des Isolierstoffes unbedingt notwendig Sie sind aus der sehr viel größeren Zahl der Versuchsreihen ausgewählt, ır Schaffung der Grundlagen von dem Materialprüfungsamt und der kalisch-Technischen Reichsanstalt angestellt waren (Passavant, „ETZ" S. 450). Für manche Zwecke werden weitere Untersuchungen als die n Vorschriften enthaltenen notwendig sein, z. B. bei Isolierstoffen, ir Spannungen über 750 V verwendet werden sollen, die Bestimmung)urchschlagspannung. Empfohlen wird, sich in solchen Fällen nach n dem genannten Aufsatz beschriebenen weitergehenden Versuchen ːhten.

Allgemeines.

Die Probenform.

Für die Abmessungen der Prüflinge war in erster Linie maßgebend, einige Isolierstoffe nicht in geringerer Dicke als 10 mm hergestellt ən konnten. Für die mechanische Untersuchung ist die Stabform die ɔetste; für die elektrische Untersuchung war zuerst die Platte vor- en; da sich aber hierfür der Stab ebenfalls als geeigneter erwies, wurde : als Normalform für die gesamte Prüfung gewählt. Das Herausschneiden Stäben aus einer Platte empfahl sich nicht, weil sich einige Preßstoffe ːht schneiden lassen und zum Teil die Festigkeitseigenschaften von Preßhaut abhängig sein können.

)ie Breite und die Länge des Stabes sind nun so gewählt, daß die ›spannung in kg/cm² nach A 1 zahlenmäßig zehnmal so groß wie die ·tung in Kilogramm ist.

Mechanische Prüfungen.

Die mechanischen Prüfungen suchen möglichst die Beanspruchungen

Zu A 1. Biegefestigkeit. Die Biegespannung σ_b ist das Verhältnis des Biegemomentes M zum Widerstandsmoment W. Wirkt in der Mitte des auf zwei Auflagern im Abstande l voneinander aufliegenden Probestabes die Kraft P, so ist das Biegemoment $M = \frac{Pl}{4}$.

Das Widerstandsmoment W des rechteckigen Stabes ist $W = \frac{bh^2}{6}$, worin b die Breite und h die Höhe (= Dicke) des Stabes in Zentimeter bedeuten; bei genauer Einhaltung der gewählten Abmessungen $l = 10$ cm, $b = 1{,}5$ cm, $h = 1$ cm ist $\sigma_b = 10\,P$ (kg/cm²).

Die ersten Vorschriften sahen stufenweise Belastung in Stufen von je etwa 150 kg/cm² vor, die 2 min lang auf den Probestab wirken sollten. Diese Stufen sollten als Gütegrade für die Klasseneinteilung der Isolierstoffe dienen; sie erwiesen sich aber für die Bedürfnisse der Praxis als zu grob und deshalb wurden in der Ausgabe der Prüfvorschriften vom April 1922 Belastungsstufen in kleineren Abständen eingeführt. Nachdem aber einmal die Gütegrade verlassen waren, hatte die schrittweise Steigerung der Belastung keinen rechten Zweck mehr; daher wurde dazu übergegangen, die Belastung gleitend bis zum Bruch zu steigern, wie es bei Festigkeitsuntersuchungen allgemein üblich ist. Die Versuchsausführung ist dabei bequemer, weniger zeitraubend und ergibt die genaue Bruchlast. Um den Einfluß verschiedener Belastungsgeschwindigkeit auszuschalten, ist eine bestimmte Geschwindigkeit, nämlich 250 kg/cm² in 1 min, festgesetzt worden, so daß ein Versuch mit einem Stoff mittlerer Festigkeit etwa 1 min dauert. Will man aus dem Biegeversuch einen Anhalt über die Nachwirkung gewinnen, so kann man den Versuch mit größerer oder kleinerer Geschwindigkeit wiederholen. Eine ausreichende Vorstellung über die Größe der Nachwirkung ergibt sich aber schon aus dem Versuch A 3, Kugeldruckhärte, bei dem die Eindrucktiefe nach zwei verschiedenen Belastungszeiten bestimmt wird.

Von den chemischen Einflüssen, denen der Isolierstoff im Betriebe ausgesetzt ist, sind die Einwirkungen von Mineralölen, Säuren und Laugen die häufigsten.

Der Angriff von Mineralöl ist nur durch die mechanische Prüfung zu erfassen; der Angriff von Säuren und Laugen beeinflußt hingegen den elektrischen Oberflächenwiderstand des Isolierstoffes sehr viel stärker als die mechanische Festigkeit, er wird daher durch die elektrische Prüfung B 1, γ und δ festgestellt.

Zu A 2. Schlagbiegefestigkeit: Die Prüfung auf Schlagbiegefestigkeit dient zur Beurteilung der Sprödigkeit von Isolierstoffen, d. h. ihres Verhaltens gegenüber stoßweise auftretender Beanspruchung.

Das bisher verwendete Pendelschlagwerk von 150 cm/kg Arbeitsinhalt war nach den festesten Isolierstoffen (Hartpapiere u. dgl.) bemessen worden. Jedoch hat sich als zweckmäßig herausgestellt, die weniger festen Stoffe mit leichteren Pendelschlagwerken zu prüfen, um die Unterschiede bei kleinen Schlagarbeiten besser erkennen zu können. Die Firma Louis Schopper, Leipzig, hat auf Anregung der Kommission für Isolierstoffe des VDE das in Abb. 7 dargestellte Pendelschlagwerk gebaut, das mit zwei auswechselbaren Pendeln von 10 und 40 cm/kg Arbeitsinhalt versehen ist.

Die Firma hat die Genehmigung zur Bekanntgabe nachstehender Hauptabmessungen erteilt:

	Pendel für 10 cm/kg	Pendel für 40 cm/kg
Elevationswinkel	160°	160°
Gesamtgewicht der pendelnden Masse	304 g	1020 g
Abstand des Schwerpunktes von der Pendelachse	169,2 mm	202 mm
Fallhöhe des Schwerpunktes	[illegible]	

Das 10 cm/kg-Pendel wird bei gewöhnlichen gepreßten Isolierstoffen ıtzt, das 40 cm/kg-Pendel bei Hartgummi. Der Apparat ist außer mit agern für Normalstäbe auch noch mit Auflagern für 5 × 10 × 60 mm ›e eingerichtet. Das 150 cm/kg-Pendelschlagwerk wird nur noch für fe höchster Festigkeit benutzt.

Für genau senkrechte Aufstellung des Apparates auf genügend fester ərlage ist Sorge zu tragen.

Das Pendel, Abb. 7, fällt bei einer Auflösung der Klinke K aus einem 'ationswinkel von 160°. In der tiefsten Stellung trifft es auf die Probe schwingt, nachdem es die Probe durchschlagen hat, auf der anderen ə durch. Die Größe der Durchschwingung (Steighöhe) wird in Winkel-



Abb. 7. Pendelschlagwerk.

len an der Skala S mit Hilfe des Schleppzeigers Z abgelesen. Aus der ghöhe ergibt sich der nach dem Bruch der Probe im Pendel noch vorlene Arbeitsinhalt. Der Unterschied der Steig- gegen die Fallhöhe ›r Berücksichtigung des Gesamtarbeitsinhaltes des Pendels ergibt die :h die Probe aufgenommene Schlagarbeit. Die Reibung des Pendels des Schleppzeigers ist in den Teilungen der Skala für die Steighöhe bei . 10/40 cm/kg-Pendelschlagwerk bereits berücksichtigt, so daß belere Abzüge für den Leerlaufverlust nicht zu machen sind.

Zweckmäßig ist es, von Zeit zu Zeit festzustellen, ob sich die Reibung Kugellagers und Schleppzeigers etwa geändert hat. Bei guter Instandung des Apparates treten allerdings kaum Änderungen auf. Da die Fall›it nicht den Winkelgraden, sondern den Fallhöhen proportional ist, t man sich zweckmäßig zur Bestimmung der von den Proben aufɔmmenen Schlagarbeiten eine Kurve auf.

biegeversuch bei Kälte vorgeschrieben. Die Temperatur von etwa -20^0 läßt sich durch eine Viehsalzeismischung etwa im Verhältnis 1 : 2 bis 1 : 1 erreichen. Besonderes Augenmerk ist darauf zu richten, daß die Proben auch tatsächlich diese Temperatur annehmen; dieses wird am zuverlässigsten erreicht, wenn man sie etwa 20 Min. lang in die Kältemischung selbst legt. Jede Probe wird unmittelbar vor dem Versuch aus der Kältemischung herausgenommen, dabei möglichst nicht in der Mitte mit den Händen berührt, entweder gar nicht oder nur ganz oberflächlich von der anhaftenden Flüssigkeit befreit und so schnell wie möglich geprüft.

Zu A 3. Kugeldruckhärte: Zur Ermittlung der Widerstandsfähigkeit eines Stoffes gegen Druckbeanspruchung kann man verschiedene Verfahren anwenden. Die hier vorgesehene Kugeldruckprobe dient nicht zur Bestimmung der eigentlichen Druckfestigkeit, sondern der Härte, und zwar nach dem sogenannten Eindruckverfahren.

Nach den früheren Vorschriften wurde eine 5 mm-Kugel aus glashartem Stahl 0,1 mm tief in die Probe eingedrückt und als Härtemaßstab die zur Erzeugung dieser Eindrucktiefe erforderliche Kraft gewählt. Im Laufe der Zeit stellte sich heraus, daß dieses Verfahren für die Isolierstoffprüfung weniger geeignet ist, weil verschiedene Isolierstoffe starke Nachwirkung aufweisen, so daß man bei dem gleichen Stoff größere oder kleinere Kräfte zur Erzeugung einer bestimmten Eindrucktiefe erhält, je nachdem man die Kraft schnell oder langsam anwachsen läßt. Ein zuverlässiger Maßstab für die Nachwirkung läßt sich aus dieser Ausführungsform der Kugeldruckhärteprobe aber nicht gewinnen. Die neuen Vorschriften greifen deshalb auf die ursprüngliche Ausführungsform der Brinellschen Kugeldruckprobe zurück. Die Kugel (5 mm Durchmesser) wird mit einer konstanten Belastung von 50 kg aufgedrückt; der Härtemaßstab ist ein Wert in kg/cm^2 als reziproker Wert der Eindrucktiefe h in Zentimeter (zu messen ist mindestens auf $^1/_{100}$ mm genau) multipliziert mit einer Konstanten, deren Bestimmung sich aus der in den Prüfvorschriften mitgeteilten Formel ergibt. Hierbei kann bequem etwaige Nachwirkung beobachtet werden; für Isolierstoffe sind deshalb zwei Ablesungen festgesetzt worden, und zwar nachdem die schnell, aber stoßfrei aufgebrachte Belastung von 50 kg 10 und 60 s lang gewirkt hat.

Zu A 4. Wärmeprüfung: Da viele Isolierteile im Betriebe bei einer zum Teil weit über Zimmerwärme liegenden Temperatur noch ausreichende Festigkeit aufweisen müssen, ist eine dahingehende Prüfung erforderlich. Von den verschiedenen sich hierfür bietenden Möglichkeiten hat man der Einfachheit der Versuchsausführung halber die Martensprobe in die Vorschriften aufgenommen.

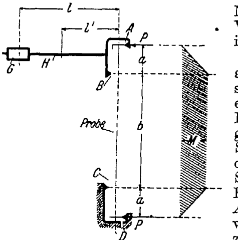


Abb. 8.

Die schematische Abb. 8 stellt die Beanspruchung des Probestabes beim Martensschen Warmbiegeversuch dar. Das Gewicht G erzeugt am Hebelarm l das Moment $M = G \cdot l$. Die Beanspruchung des Probestabes ist die gleiche wie bei einem auf B und C als festen Stützpunkten gelagerten, an den überragenden Enden A und D im Abstande a von den Stützpunkten mit den Kräften P belasteten Biegebalken. Das Biegemoment steigt von A bis B und von D bis C auf seinen Höchstwert $M = G \cdot l$, der auf die ganze Länge b zwischen den Stützpunkten B und C konstant bleibt. Dem Moment $G \cdot l$ entspricht an der Probe das Moment $P \cdot a$, also $M = G \cdot l = P \cdot a$. Man wird zweckmäßig den Hebelarm a für die Kraft P nicht zu klein wählen, damit P nicht zu groß wird und damit örtliche Eindrücke an der Probe hervorruft.

inken des Belastungshebels H und seitliches Ausweichen der Probe eine
.erung des Momentes $G \cdot l$ bedingt. Die Abmessungen des Normalstabes
des Normalapparates ergeben jedoch für b eine zweckmäßige Größe.
hlt man l nicht zu klein, so daß G nicht zu groß wird, so ist auch die durch
Gewicht G erzeugte, im Stabe senkrecht wirkende Druckkraft vernach-
igbar. Oben ist das wirksame Moment der Einfachheit halber als $G \cdot l$
egeben; es ist selbstverständlich nötig, das durch das Eigengewicht des
)els H erzeugte Moment mit zu berücksichtigen; das auf die Probe
tende Biegemoment M ist also $M = G \cdot l + H \cdot l\ P \cdot a$.

Bei der früher festgesetzten Geschwindigkeit der Temperatursteigerung
. 125—150° C in 1 h tritt, wie Nachprüfungen ergeben haben, ein
ulässig großer Unterschied zwischen der Wärme der Proben und der
umgebenden Luftbades auf. Deshalb ist die Geschwindigkeit der
nperatursteigerung auf etwa 50° C in 1 h herabgesetzt, da hierbei
Wärme der Proben nur 5—6° C hinter der des umgebenden Luftbades
ückbleibt.

Bei der Anordnung der Heizquellen ist darauf zu achten, daß die Probe-
)e auf die ganze Länge gleichmäßig erwärmt werden. Die Erfahrung
gezeigt, daß das Außerachtlassen dieser Forderung zu Unstimmigkeiten
rt.

Beim Einbau mehrerer Martens-Apparate in den Heizkasten sind
me Trennwände zwischen den einzelnen Belastungshebeln und federnde
ffangvorrichtungen anzubringen, damit beim Bruch einer Probe die
chbarproben nicht gestört werden. Von einer Festlegung der Konstruk-
ı des Wärmekastens und der Anzeigevorrichtung für das Absinken des
bels ist abgesehen worden, damit etwa vorhandene Wärmeschränke be-
ızt werden können; jedoch ist darauf zu achten, daß die Erwärmung der
)ben gleichmäßig erfolgt und die Messung der Hebelstellung nicht durch
:schiebung des Nullpunktes beim Erwärmen ungenau wird. Um das Be-
ungsgewicht bei den unvermeidlichen Schwankungen des Widerstands-
mentes der einzelnen Proben schnell einstellen zu können, empfiehlt sich,
dem Hebel eine entsprechende Teilung anzubringen.

Zu A 5. Feuersicherheit: Die Prüfung ist der in den Errichtungs-
schriften gegebenen Definition der Feuersicherheit angepaßt worden.
; unter 45° geneigte, von der Probe seitlich etwas abgerückte Stellung des
nners ist gewählt worden, um zu verhindern, daß bei Stoffen, die leicht
eichbare Bestandteile austropfen lassen, Verschmutzungen des Brenners
kommen.

Die Prüfung auf Frostbeständigkeit ist in den neuen Vorschriften
Fortfall gekommen, weil eine mangelhafte Frostbeständigkeit nur durch
ıssergehalt (bzw. Wasseraufnahme) bedingt ist und weil die Feuchtigkeit-
nahme durch die elektrische Prüfung in schärferer Weise erfaßt wird.

Elektrische Prüfung.

Zu B 1. Auf elektrische Festigkeit, also auf Durchschlag, werden die
lierenden Baustoffe für Apparate und Installationsmaterial nicht in
menswerter Weise beansprucht, verlangt wird nur, daß der Isolierstoff
ht merklich leitet. In völlig trockenem Zustande isoliert eine große An-
ıl von Stoffen vortrefflich; viele von ihnen werden aber durch Zutritt
n Feuchtigkeit merklich elektrolytisch leitend und somit unbrauchbar.
eses macht sich naturgemäß zuerst und am stärksten an der Oberfläche
s Isolierstoffes bemerkbar; in elektrischer Hinsicht wird daher für den vor-
genden Zweck ein Isolierstoff durch einen Oberflächenwiderstand unter
rschiedenen Einflüssen geeignet gekennzeichnet.

Mehrfach hat man einen nicht feuchtigkeitssicheren Isolierstoff durch
ıen wasserdichten Anstrich zu verbessern gesucht. Abgesehen davon,
ß im Gebrauch diese dünne Haut leicht verletzt und ihre Schutzwirkung
Frage gestellt wird, soll hier der Stoff selbst und nicht der etwaige An-
ich untersucht und gekennzeichnet werden; daher ist vorgeschrieben,

Das 10 cm/kg-Pendel wird bei gewöhnlichen gepreßten Isolierstoffen ıtzt, das 40 cm/kg-Pendel bei Hartgummi. Der Apparat ist außer mit agern für Normalstäbe auch noch mit Auflagern für 5×10×60 mm)e eingerichtet. Das 150 cm/kg-Pendelschlagwerk wird nur noch für fe höchster Festigkeit benutzt.

Für genau senkrechte Aufstellung des Apparates auf genügend fester erlage ist Sorge zu tragen.

Das Pendel, Abb. 7, fällt bei einer Auflösung der Klinke K aus einem rationswinkel von 160°. In der tiefsten Stellung trifft es auf die Probe schwingt, nachdem es die Probe durchschlagen hat, auf der anderen e durch. Die Größe der Durchschwingung (Steighöhe) wird in Winkel-



Abb. 7. Pendelschlagwerk.

len an der Skala S mit Hilfe des Schleppzeigers Z abgelesen. Aus der ghöhe ergibt sich der nach dem Bruch der Probe im Pendel noch vordene Arbeitsinhalt. Der Unterschied der Steig- gegen die Fallhöhe ›r Berücksichtigung des Gesamtarbeitsinhaltes des Pendels ergibt die :h die Probe aufgenommene Schlagarbeit. Die Reibung des Pendels des Schleppzeigers ist in den Teilungen der Skala für die Steighöhe bei ι 10/40 cm/kg-Pendelschlagwerk bereits berücksichtigt, so daß belere Abzüge für den Leerlaufverlust nicht zu machen sind.

Zweckmäßig ist es, von Zeit zu Zeit festzustellen, ob sich die Reibung Kugellagers und Schleppzeigers etwa geändert hat. Bei guter Instandung des Apparates treten allerdings kaum Änderungen auf. Da die Fallɜit nicht den Winkelgraden, sondern den Fallhöhen proportional ist, ;t man sich zweckmäßig zur Bestimmung der von den Proben aufɔmmenen Schlagarbeiten eine Kurve auf.

Der mit dem vorgeschriebenen Normalapparat gemessene Widerstand ist nun nicht rein der Oberflächenwiderstand, sondern Anteil an ihm hat auch das Innere des Isolierstoffes, da die elektrischen Feldlinien zwischen den beiden spannungsführenden Scheiden nicht nur an der Oberfläche, sondern auch im Inneren verlaufen. Die Verhältnisse beim eingebauten Isolierstoff liegen aber in der Regel ganz ähnlich. Da der Apparat und die Proben in ihren Abmessungen vorgeschrieben sind, sind die Meßergebnisse völlig eindeutig; die Bezeichnung des gemessenen Widerstandes als „Oberflächenwiderstand" ist lediglich eine Abkürzung, die den wesentlichsten Teil nennt.

Die Probeplatte darf bei der Prüfung nicht auf eine geerdete Metallfläche gelegt werden, da hierdurch die elektrische Feldverteilung eine andere wird und der gemessene Widerstandswert zu hoch ausfallen kann.

Der Isolationswiderstand, namentlich der Oberflächenwiderstand, hat nicht einen festen Wert wie etwa der Widerstand eines Drahtes, sondern er nimmt im allgemeinen etwa umgekehrt proportional der Spannung ab. Daher mußte eine einheitliche Meßspannung vorgeschrieben werden, die nicht zu niedrig gewählt werden durfte, um einerseits nicht zu günstig erscheinende Widerstände bei geringwertigen Stoffen zu erhalten und andererseits die hochwertigsten Stoffe erkennen zu können. Die Stromstärke ist durch den vorgeschalteten Schutzwiderstand von 10000 Ω auf den Höchstwert von 0,1 A begrenzt, die Gleichstromquelle braucht daher nur 100 W zu leisten. Am bequemsten hierfür ist eine kleine Dynamo, deren Spannung mit der Erregung geregelt und durch deren Ausschalten auf wenige Volt herabgesetzt werden kann, so daß die Prüflinge ohne Gefahr ausgewechselt werden können. Man kann auch kleine Akkumulatoren von 0,1 A Entladestromstärke, in passenden Gruppen für die Ladung unterteilt, zu einer Batterie zusammensetzen; sie müssen in regelmäßigen Zeiträumen kräftig entladen und wieder aufgeladen werden, da die geringe Entladung beim Messen nicht genügt, das Verhärten der positiven Platten zu verhindern.

Ein anderer Weg ist, eine Wechselspannung heraufzutransformieren und mit einem Gleichrichter gleichzurichten, doch ist darauf zu achten, daß die so erzeugte Gleichspannung nicht zu stark pulsiert. Ein Dreiphasen-Gleichrichter ist in dieser Hinsicht wegen der besseren Überlappung der Spannunghalbwellen wesentlich günstiger als ein einphasiger. Auf alle Fälle werden aber besondere Mittel zur Begrenzung der Pulsationen anzuwenden sein; am vollkommensten gelingt dieses, wenn man mit dem Gleichrichter eine Kapazität C aufladet. Soll bei Drehstrom von der Frequenz 50 Per/s die Pulsation der Gleichspannung von 1000 V bei einer Stromentnahme von i A durch den Oberflächenmeßapparat nicht mehr als 5 vH betragen, so muß: C in μF gleich $1{,}3 \times 10^{-1}$ sein. Für $i = {}^1/_{10}$ A würde sich hiernach C zu 13 μF ergeben; nun würde man sich aber wohl an manchen Stellen damit begnügen können, die Oberflächenwiderstände, z. B. unter 1 $M\Omega$ (Grenze zwischen Vergleichszahl 1 und 2) mit geringerer Zuverlässigkeit zu messen; dann würde für $i = 0{,}001$ die Kapazität C 0,13 μF groß sein müssen. Für 1000 V Gleichspannung ist ein solcher Kondensator gut herstellbar. Bei Messungen von Widerständen über 10 $M\Omega$ würden dann die Pulsationen unmerklich klein.

Statt des Kondensators kann man auch einen Widerstand (nicht eine Drosselspule) einschalten, der einen nicht zu geringen Strom, z. B. 0,5 bis 1 A, entnimmt und von dem man die Spannung zum Messen abzweigt; mit einer Drosselspule vor dem Widerstand kann man die Pulsationen des Stromes durch Widerstand schwächen. Der Betrieb der Anordnung verzehrt aber nicht unbeträchtlich Energie.

Beim Oberflächenwiderstand interessiert nicht die genaue Größe, sondern nur die Größenordnung. Ihre Stufen sind von ${}^1/_{100}$ $M\Omega$ ausgehend mit dem Faktor 100 fortschreitend festgesetzt und mit Vergleichzahlen bezeichnet.

Von chemischen Einflüssen macht sich

ng sind die praktisch am häufigsten vorkommenden Einwirkungen Art ausgesucht: verdünnte Schwefelsäure, wie sie sich in Akkumuräumen durch das Gasen der Zellen beim Laden überall hin ver-t, und Ammoniakdampf, der sich in Viehställen u. dgl. entwickelt. ch der Angriff zeitlich nicht beschleunigen läßt, mußte die Dauer inwirkung auf 3 Wochen festgesetzt werden.

u B 2. Bei Isolierstoffen, die Kunstharze enthalten, kommt es als Folge ügender Durchführung des Herstellungsganges vor, daß sich im n nachträglich Wasser abspaltet, während die Oberfläche hervor-l isoliert. Um derartige Fehler zu erkennen, ist bei der Neubearbeitung orschriften die Messung des Widerstandes im Inneren zugefügt.

u B 3. Die Anordnung der Kohlen bei der Prüfung der Lichtbogen-heit ist so gewählt, daß die vom Lichtbogen aufsteigenden Flammen-ei nach oben entweichen können. An einem Haltegestell ist ein Isolier-befestigt, das zwei, eine Gerade bildende, wagerechte Rundeisenstäbe auf jedem gleitet ein Klotz, der eine um etwas mehr als 45° gegen den geneigte Bohrung hat. In dieser wird der Kohlenstab festgeklemmt; iden Kohlen werden so weit durchgesteckt, daß ihre Ebene um etwa gen die wagerechte Ebene geneigt ist. Die Stromzuführungen werden lemmschrauben an den Klötzen befestigt. Nach Zünden des Licht-s wird der eine Klotz mit der vorgeschriebenen Geschwindigkeit auf n Eisenstab entlanggeschoben, während der andere feststeht.

ie Lichtbogensicherheit wird danach beurteilt, in welchem Maß der stoff durch die Einwirkung des Lichtbogens dauernd oder vorüber-d an der Stromleitung teilnimmt. Bei der Neubearbeitung der Vor-en sind die vier charakteristisch verschiedenen Fälle in ihrer Reihen-umgestellt und mit 0, 1, 2, 3 als Stufen der Lichtbogensicherheit hnet. Die Gründe für das verschiedene Verhalten sind folgende:

. Der Isolierstoff verkohlt und diese Kohle leitet auch nach dem en den Strom, so daß sie wieder zum Glühen kommt.

. Am Isolierstoff bilden sich sogenannte Leiter II. Klasse (wie z. B. tift der Nernstlampe), die in glühendem Zustande gut, in kaltem n nicht leiten.

. Aus dem Isolierstoff entwickeln sich brennbare Gase, die ein Aus-lerziehen des Lichtbogens über die natürliche Länge von 22 mm ten, der Isolierstoff selbst jedoch wird leitend.

. In England ist die British Electrical Allied Industries Research iation mit einem Entwurf zur Bestimmung der elektrischen keitsprüfungen von faserigen Isoliermaterialien herausgekommen. Während unsere deutschen Prüfvorschriften nur die Feststellung berflächen-Widerstandes und des Widerstandes im Innern des ktrikums kennen, sehen die englischen Richtlinien nur die Mes-der Durchschlagsfestigkeit vor. Die Untersuchung wird am luft-nen Nichtleiter vorgenommen, ferner nach Vertreibung der Feuch-t 1. durch Erwärmung, 2. nach Lagerung in feuchtigkeitsgesättigter nd schließlich 3. noch unter Tropenverhältnissen, indem der Isolier-r bei feuchtigkeitsgesättigter Luft einer Temperatur von ca. 50° C setzt wird.

Die elektrische Festigkeit wird mit sinusförmigem Wechselstrom 0 Per/s gemessen und in ihrem Verhalten 1. zu der Zeit der Ma-beanspruchung, 2. zur Materialstärke und 3. zu Erwärmungen bis C graphisch dargestellt.

Wasseraufnahmefähige Stoffe sind nach Entfernung der schützen-

Spannung überschlägt, prüft man unter Öl. Geschichtete Nichtleiter werden parallel zu ihren Lagen untersucht, wenn sie in dieser Weise auch im Betrieb beansprucht sind. An Hochfrequenz-Isolierstoffen wird eine Prüfung mit Hochfrequenz vorgenommen.

Wie sich die Erwärmung des Dielektrikums unter Belastung mit Wechselstrom vollzieht, wird folgendermaßen beobachtet:

Man legt den Nichtleiter mit seinen Elektroden zugleich mit einem Thermoelement zum Messen der Temperatur in eine gut wärmeisolierende Masse, z. B. Filz. In den Wechselstromkreis wird eine Batterie von 50 V Spannung und ein Milliamperemeter für Gleichstrom eingeschaltet, so daß sie dauernd vom Ladestrom durchflossen werden. Zunächst hält man die Wechselstromspannung konstant und stellt das Ansteigen der Erwärmung und des Isolationsstromes fest. Wachsen beide Werte nicht mehr, wird die Wechselstromspannung erhöht. Schließlich kommt ein Punkt, wo die Erwärmung des Materials schnell zunimmt und der Isolationswiderstand stark zurückgeht, bis der Durchschlag erfolgt.

3. Die „Untersuchungsstelle für Isolierstoffe" in Nürnberg, welche im Rahmen der Landesgewerbeanstalt errichtet wurde, um die Prüfungen der Nichtleiter in *Verwendungsform* und *nach Verwendungszweck* vorzunehmen, stellt eine überaus wertvolle Ergänzung zur Beurteilung der praktischen Brauchbarkeit von elektrischen Isoliermaterialien dar. Sie hat begonnen mit der Gütebestimmung von fertigen Griffen, Traversen und Grundplatten für Hebelschalter und hier äußerst beachtliche Feststellungen gemacht. Die Tätigkeit der Untersuchungsstelle erstreckt sich auf das Gesamtgebiet isoliertechnischer Konstruktionen.

4. Auch die Kommission für Installationsmaterial des VDE hat Leitsätze für die Untersuchung der Isolierkörper, wie sie in der Installation zur Verwendung kommen, entworfen (ETZ 1924, S. 1389). Die Genehmigung dieser Prüfvorschriften seitens der Jahresversammlung des VDE steht noch aus, weil verschiedentlich die Feststellung der geforderten Eigenschaften noch näher zu erläutern ist.

Entwurf.

Leitsätze für Untersuchung der Isolierkörper von Installationsmaterialien.

Vorwort.

Verschiedene in den „Vorschriften für Konstruktion und Prüfung von Installationsmaterial" vorhandene Abschnitte schreiben Eigenschaften vor, ohne zu erläutern, wie diese festgestellt werden sollen. Z. B. wird Feuer-, Wärme- und Feuchtigkeitssicherheit gefordert und dem Begriffe nach bestimmt. Auch Feuersicherheit von Isolierkörpern, die mit einem Lichtbogen in Berührung kommen, und mechanische Widerstandsfähigkeit werden für notwendig angesehen. Ferner ist die Isolation eines fertigen Apparates nach Liegen in „feuchter Luft" festzustellen.

In keinem Falle ist jedoch eine Erklärung gegeben, mit welchen Mitteln diese Sicherheiten und Eigenschaften untersucht werden sollen und wie die

nirgends Angaben gemacht worden. Es bestand daher bei vielen ern die Ansicht, daß die „Prüfvorschriften für elektrische Isolierstoffe" lie Feststellung der Eigenschaften von Isolierkörpern maßgebend seien. Die Kommission für Installationsmaterial hat zwei Unterkommissionen, zwar für Isolierkörper und für Prüfwesen, beauftragt, Klarheit zu ffen und Vorschriften auszuarbeiten.

Zunächst wurde festgestellt, daß eine Prüfung nach den „Prüfvorschriffür elektrische Isolierstoffe" nicht in Frage kommt, sondern daß die ung fertiger Isolierkörper mit Hilfe anderer Methoden erfolgen müsse. :hen Ansprüchen jeder einzelne Körper unter Berücksichtigung seines vendungszweckes zu widerstehen hat, sollte die Unterkommission für erkörper in Tafeln festlegen. Die Aufstellung dieser Tafeln konnte aber erfolgen, nachdem man Klarheit über die Prüfverfahren gewonnen hatte. Die nachstehend veröffentlichten Leitsätze, welche von der Untermission für Prüfwesen aufgestellt worden sind und von der Hauptmission für Installationsmaterial angenommen wurden, werden mit ksicht auf die Arbeiten in der Prüfstelle des VDE und den Prüfämtern, he Untersuchungen von Installationsmaterial zwecks Anerkennung des zeichens ausführen, veröffentlicht, ohne die Fertigstellung der Beruchungstafeln abzuwarten.

Der nachstehende Entwurf soll vorläufig als Grundlage für Prüfungen gutachtliche Äußerungen dienen, bis auf Grund weiterer Arbeiten und hrungen endgültige Bestimmungen getroffen werden können. Zwecks erung dieser Arbeiten wird gebeten, alle Erfahrungen auf diesem Ge-, die für die Aufstellung endgültiger Vorschriften von Nutzen sein ten, möglichst bald der Geschäftsstelle mitzuteilen. Die Herstellung Prüfapparate hat die Firma H. Unbehauen, Berlin NO 18, Weberße 5, übernommen.

Leitsätze.

A. Allgemeines.

§ 1. Zweck.

Die Leitsätze sollen die „Vorschriften für die Konstruktion und ung von Installationsmaterial" hinsichtlich der Untersuchung der erkörper ergänzen. Es ist beabsichtigt, sie später zu Vorschriften umundeln.

§ 2. Begriffserklärung.

a) Unmittelbar isolierende Körper sind Träger spannungführen-Teile und anderer Körper, die unmittelbar mit spannungführenden n in Berührung stehen.

b) Mittelbar isolierende Körper sind Abdeckungen, Auskleigen u. dgl., soweit sie nicht unter a) fallen.

B. Durchführung der Untersuchung.

§ 3.

Die Beschaffenheit der Isolierkörper ist nach den Errichtungsvorften sowie nach den „Vorschriften für die Konstruktion und Prüfung Installationsmaterial" auszudehnen auf:

a) Feuchtigkeitssicherheit,
b) mechanische Widerstandsfähigkeit,
c) Wärmesicherheit,
d) Feuersicherheit.

§ 4. Feuchtigkeitssicherheit.

a) Prüfvorrichtungen (Abb. 1).

Auf einem Untersatz c ($400 \times 400 \times 40$ mm), der etwa 20 mm hoch

schlußkasten wird Dampf aus einem Kessel *e* von etwa 2 l Inhalt eingelassen. Der Wasserinhalt *f* soll vor dem Versuch 1 l sein. Die Rohröffnung des Bunsenbrenners *h* soll 8 mm Durchmesser betragen. Die Flammen-

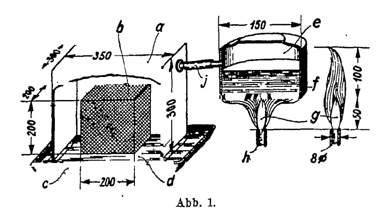


Abb. 1.

höhe *g* bei Gasdruck von etwa 50 mm soll 150 mm betragen, davon der Kern 50 mm. Zur Verbindung zwischen Kessel *e* und Abschlußkasten *a* kann ein Gummischlauch *i* verwendet werden.

b) Ausführung der Prüfung.

1. Sicherheit bei dauernd einwirkendem Wasserdampf. Der Prüfling ist in betriebsmäßig montiertem Zustande in den Abschlußkasten zu bringen, die Dampfzuführungsdauer beträgt 1 st. Die Lagerung dauert darauf mindestens 11 st ohne vorherige Änderung der Luftverhältnisse im abgeschlossenen Prüfkasten. Elektrische Prüfungen sind danach auszuführen ohne Beseitigung von Wassertropfen usw. Der Wasserrest im Kessel soll nach dem Versuch etwa 0,4 l betragen.

2. Sicherheit bei feuchter Luft. Wie unter 1., jedoch Dampfzuführdauer nur 6 min, Lagerung im Prüfkasten unter den gleichen Bedingungen 12 st. Wasserrest im Kessel nach dem Versuch etwa 0,96 l.

3. Sicherheit bei Zimmerluft. Wie unter 1., jedoch ohne Dampfzufuhr. Die Feuchtigkeit der Wassermenge im Untersatz genügt.

c) Prüfergebnis.

Zu 1.—3. Die Isolierkörper müssen die Prüfungen

nach § 11 für Schalter,
,, § 20 für Steckvorrichtungen,
,, § 29 für Sicherungselemente,
,, § 43 für Fassungen,
,, § 48 für Handleuchter

und für die übrigen Installationsmaterialien sinngemäß bestehen.

Erläuterungen zu § 4.

Die vorstehend genannten Paragraphen der „Vorschriften für die Konstruktion und Prüfung von Installationsmaterial" besagen, daß die Isolation nach mindestens 12stündigem Liegen in feuchter Luft eine Prüfspannung von 1500—2500 V je 1 min lang aushalten müssen, ohne daß ein Überschlag erfolgt. Es fehlt die Angabe über die Feststellung der Feuchtigkeit der Luft, wie sie für diese Prüfung vorgesehen werden muß. Die üblichen einfachen Methoden der Feststellung der Feuchtigkeit sind so ungenau, daß selbst bei gleichmäßiger Apparatur wesentliche Unterschiede bei der Beurteilung entstehen können. Aus diesem Grunde ist das Verfahren derart vereinfacht worden, daß zu der jeweiligen

Die Gleichheit der Versuche ist aber nur dann gewährleistet, wenn

1. die Volumina den vorgesehenen entsprechen,
2. die zu verdampfenden Wassermengen den oben angegebenen entrechen,
3. das Volumen der gemeinschaftlich zu untersuchenden Körper nicht ößer ist wie oben angegeben.

s könnte sonst der Fall eintreten, daß die Oberfläche der zu untersuchenden örper so groß wird, daß ein ungenügender Feuchtigkeitsniederschlag, begen auf die Flächeneinheit, entsteht. Die Prüflinge sollen nach Lagerung ı Abschlußkasten ohne Entfernung der Oberflächenfeuchtigkeit der in den nannten Paragraphen vorgesehenen Prüfspannung unterworfen werden.

§ 5. Mechanische Widerstandsfähigkeit.

Die Prüfung der mechanischen Widerstandsfähigkeit ist den praktischen eanspruchungen entsprechend auszuführen. Daher ist zu unterscheiden:

I. Prüfung der Griffe von Handleuchtern,
II. Prüfung der Kappen für für Drehschalter und Steckdosen,
III. usw.

ls.)

I. Prüfung der Griffe von Handleuchtern.

a) Prüfvorrichtung (Abb. 2).

Ein Gestell wird mit einer eisernen winkelförmigen Anschlagschiene d rsehen. In 1000 mm Abstand von dieser Anschlagschiene befindet sich ı Drehpunkt e, an dem durch Klemmung od. dgl. die Zuleitung befestigt ı. Ferner ist eine Auslösevorrichtung f rhanden, die ein Fallenlassen des Handıchters ohne Stoßwirkung ermöglicht. e Aufschlagschiene soll an der Anschlagelle einen Krümmungsradius von $r = 5$ mm ben.

b) Ausführung der Untersuchung.

Der Handleuchter ist betriebsmäßig mit tsprechend langer Zuleitung zu installieren assung anschließen, Zugentlastung aningen). Die Zuleitung ist an dem Drehınkt zu befestigen. Es sind drei Schläge szuführen, und zwar derart, daß beim sten Schlage das Aufschlagen im Punkte a, s zweitemal im Punkte b und das drittel im Punkte c erfolgt.

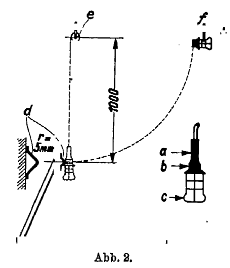


Abb. 2.

c) Prüfergebnis.

Der Griff des Handleuchters muß diesen drei Schlagversuchen ohne schädigung widerstehen. Eindruckstellen gelten nicht als Beschädigung.

Erläuterungen zu § 5 I.

Die Art der Prüfung wurde mit Rücksicht auf die im Betrieb auftenden Beanspruchungen gewählt, indem die Werkstoffbeschaffenheit sen entsprechen muß. Das Gewicht des Handleuchters einschließlich s Schutzkorbes und der Zubehörteile sowie der Schwerpunkt finden achtung. Die vorgesehene Fallhöhe und die winkelförmige Aufschlag-

II. Prüfung der Kappen für Drehschalter und Steckdosen.

a) Prüfvorrichtung (Abb. 3).

Ein Fallkörper im Gewicht von 500 g wird in einem Prüfgestell *a* h eine Einstellvorrichtung *d* auf einer Gleitstange *b* für diejenige Fallhöhe eingestellt, welche sich aus folgender Rechnung ergibt:

$$\frac{\text{Gewicht der Kappe in g}}{5} = \text{Fallhöhe in cm.}$$

Die zu prüfende Kappe *e* wird durch eine Vorrichtung aus Holz od. dgl. (*f*) in der Versuchslage festgehalten.

b) Ausführung der Prüfung.

Der Fallkörper ist aus der errechneten und eingestellten Fallhöhe einmal auf die Kappe fallen zu lassen.

c) Prüfergebnis.

Die Kappen sollen dieser Prüfung standhalten, ohne Sprünge oder Eindrücke zu zeigen.

Abb. 3.

Erläuterungen zu § 5 II.

Bei diesem Versuch wird das Fallen der Kappe, wie es bei der Montage vorkommen kann, berück-igt. Alle anderen Zerstörungsmöglichkeiten konnten nicht erfaßt en, da die Beanspruchungsmöglichkeiten am montierten Schalter ver-denartig sind.

Die Prüfvorrichtung wiederholt das Fallen der Kappe aus 1 m Höhe ersetzt die unbestimmbare Fallrichtung der Kappe durch einen ge-et fallenden Körper, dessen Gewicht für Kappen bis zum Eigengewicht 250 g 500 g betragen soll. Der Aufschlag des Gewichtes soll derart gen, daß der Fallkörper die Oberfläche der Kappe axial berührt und auf der gesamten zur Verfügung stehenden Höhe der Kappe. Durch echnung des Eigengewichtes der Kappe unter Berücksichtigung des ewichtes von 500 g ergibt sich die Formel:

$$\frac{\text{Gewicht der Kappe in g}}{5} = \text{Fallhöhe in cm.}$$

.eichteren Ablesung der Fallhöhe ist die Gleitstange der Vorrichtung em Kappenrand aufzusetzen und die Fallhöhe an der Skala auf dieser ge abzulesen. Um das Fortrollen der Kappe zu verhindern, soll dieselbe i eine Vorrichtung gehalten werden. Z. B. kann ein entsprechend aus-eiteter Holzklotz, welcher die Kappe von unten in höchstens ein el Umfang umfaßt, zu diesem Zweck verwendet werden. Der Auf-g soll an einer ungeschwächten Stelle der Kappenwand erfolgen.

§ 6. Wärmesicherheit für feste Isolierkörper.

a) Prüfvorrichtung.

Die Prüflinge sind in einem Thermostat (Abb. 4), der aus Grund-e, Heizvorrichtung und Abdeckkappe besteht, unterzubringen. Sie ohne mechanische Veränderung ihrer Form auf besonderen Vorrich-n zu befestigen nach Abb. 5—7 und mit einer Belastungsvorrichtung ersehen. Das Belastungsgewicht soll dem Eigengewicht gleich sein, estens aber 100 g betragen.

b) Ausführung der Prüfung.

1. Sicherheit bei Wärmestufe [illegible]

icherheit bei Wärmestufe 150: Wie unter Wärmestufe 250. End-
ur 150°.
icherheit bei Wärmestufe 100: Wie unter Wärmestufe 250. End-
ur 100°.
icherheit bei Wärmestufe 70: Wie unter Wärmestufe 250. End-
ur 70°.
icherheit bei Wärmestufe 50: Wie unter Wärmestufe 250. End-
ur 50°.

c) Prüfergebnis.

merkliche allgemeine Formveränderung darf bei den Prüfungen
ıtreten. Die zulässige Durchbiegung am Belastungshebel muß
ls 3 mm sein.

Erläuterungen zu § 6.

bisher gebräuchliche Untersuchung von mechanischer Sicherheit
neeinwirkung auf Isolierteile erfolgte derart, daß ein Körper in
ermostaten gebracht wurde, dessen Temperatur bis auf die not-
Höhe gebracht wurde (innerhalb der vorgesehenen Zeit). Nach
ıg dieser Temperatur wurde der Isolierkörper aus dem Thermostaten
ıommen und durch Eindrücken von
ınziehern und ähnlichen Werkzeugen
ıt, ob die Oberfläche des Körpers sich
ren ließ. Das Ergebnis war von sehr
ıfälligkeiten abhängig; diese Zufällig-
ərden ausgeschaltet. Die Körper blei-
zur Beendigung des Versuches im
taten; das Ergebnis wird im Thermo-
mittelt.
Form des Thermostaten selbst ist an
hgültig. Eine einfache Form des Appa-
Erhitzung bis etwa 180°, welche zu-
arbeitet und billig herzustellen ist, ist
ŀ wiedergegeben.
ɔedeuten:

ə Abdeckkappe des Thermostaten,
ı Thermometer,
ə Belastungsvorrichtung,
ə Heizvorrichtung, und
ə Grundplatte.

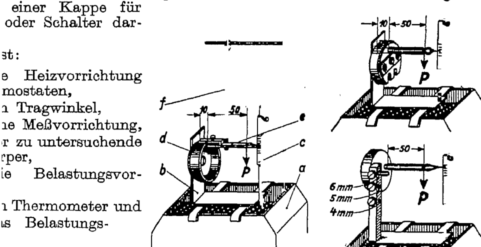
Abb. 4.

iesen Termostaten werden die zu untersuchenden Prüflinge z. B.
ı Abb. 5, 6 und 7 eingesetzt. In Abb. 5 ist eine Belastungsvor-
einer Kappe für
oder Schalter dar-

st:

ə Heizvorrichtung
mostaten,
ı Tragwinkel,
ıe Meßvorrichtung,
r zu untersuchende
rper,
ie Belastungsvor-

ı Thermometer und
ıs Belastungs-



von Steckern und Schaltern, Fassungen u. dgl. sowie für Stecker dargestellt.

In Abb. 7 ist eine Vorrichtung zur Prüfung von Handleuchtergriffen wiedergegeben. Es ist:

a der Handleuchtergriff,
b die Haltevorrichtung desselben,
c die Meßvorrichtung,
P deutet auf das Belastungsgewichthin, welches an Stelle von Schutzglas und Schutzkorb anzuwenden ist, falls dieselben bei der Prüfung nicht vorhanden sind. Im allgemeinen genügt ein Gewicht von 500 g für die üblichen Handleuchter.

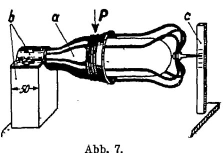


Abb. 7.

Voraussetzung für die Untersuchung ist, daß keinerlei Formänderung vor oder während des Versuches vorgenommen wird, z. B. dürfen keine Löcher zur Befestigung von Prüfmitteln angebracht werden. So soll z. B. eine Kappe für Schalter oder Steckdose vermittels ihrer normalen Öffnungen an dem Haltebügel der Einrichtung befestigt werden. Auf den Rand einer Kappe wird eine Klemmvorrichtung aufgebracht, welche gleichzeitig Träger des Gewichtes ist. Die Hebelanordnung des Gewichtes ist im Verhältnis 1 : 5 zu treffen, also bei 10 mm Länge der Klemmung auf der Kappe ist das Gewicht 50 mm vom Kappenrande entfernt anzubringen. Das Gewicht *P* soll gleich sein dem Gewicht der Kappe oder des betreffenden Prüflings, mindestens aber 100 g. Die Untersuchung von Sockeln, Steckern oder Handleuchtergriffen erfolgt in gleicher Weise wie in den Abb. 5—7 dargestellt.

Daß die Prüfung eine merkliche Formveränderung nicht ergeben darf und die Durchbiegung der Belastungshebel kleiner sein muß als 3 mm, ist in den Leitsätzen bereits angeführt worden.

Vorstehende Temperaturen der Wärmestufen gelten jedoch nur für Verwendung in normal geheizten Räumen. Die Anwendung in heißen Räumen setzt andere noch festzulegende Temperaturen voraus.

Anmerkung: Zurzeit sind folgende Temperaturen zur Untersuchung der Wärmesicherheit nachfolgender Teile üblich:

1. Schutz- und Abdeckkappen . . . . . 70°
2. Träger spannungführender Teile . . . 100°
3. Handleuchtergriffe . . . . 150°
4. Teile für Sicherungselemente. . . . . 250°

Es wird zurzeit untersucht, ob Schutzkappen, welche eine Wärmesicherheit von 50° haben, den allgemeinen Ansprüchen genügen.

§ 7. Wärmesicherheit von Vergußmassen.

Vergußmasse dient zum Abdecken und nicht zur Befestigung spannungführender Teile.

a) Prüfvorrichtung (Abb. 4).

Die Prüflinge sind im Thermostaten in der Gebrauchslage unterzubringen.

b) Ausführung der Prüfung.

Die Temperatur ist innerhalb einer Stunde auf 70° zu steigern.

c) Prüfergebnis

Erläuterungen zu § 7.

Vergußmassen sollen den betriebsmäßigen Beanspruchungen stand- ›n, ohne eine Lageveränderung anzunehmen. Zu diesem Zweck werden ossene Körper, z. B. Schalter, Steckdosen und Sicherungselemente, nen Thermostaten gebracht und dort in der Gebrauchslage aufgestellt. Temperatur im Thermostaten soll innerhalb einer Stunde auf 70° ge- ert werden. Nach dieser Zeit darf zwar eine Erweichung der Verguß- ie, nicht aber eine Lageveränderung eintreten. Paraffinhaltige und iche Vergußmassen sind aus diesem Grunde nicht verwendbar.

§ 8. Feuersicherheit.

Prüfbestimmungen sind in Vorbereitung.

5. Da, wie allgemein bekannt ist, die Preßisolierstoffe in Stark- manlagen, also bis 750 V Betriebsspannung, teilweise in einer un- ntwortlich minderwertigen Beschaffenheit auf den Markt gebracht len, sind die im Zentralverband der Deutschen Elektrotechnischen ıstrie e. V. unter Gruppe IV (gummifreie Isolierstoffe) der Fach- ›pe 19 vereinigten Fabriken (Vors. Dr. Schiff) zusammengetreten haben zu ihrem Schutz von sich aus eine Klassifizierung ihrer Er- ;nisse vorgenommen. Es sind in Erkenntnis dessen, daß das thermi- Verhalten sehr wichtig ist, ferner die Biegefestigkeit das Fabrikat weitgehendsten charakterisiert, folgende 10 Klassen vorgesehen Z 1924, Heft 27):

se	Wärmebeständigkeit	Biegefestigkeit
I	mind. 150°	mind. 500 kg/cm²
I	„ 150°	„ 350 kg/cm², unter 500 kg/cm²
I	„ 150°	„ 200 kg/cm², „ 350 kg/cm²
V	„ 150°	„ 150 kg/cm², „ 200 kg/cm²
V	„ 150°	„ 150 kg/cm²
I	„ 100°, unter 150°	„ 350 kg/cm²
I	„ 65°, „ 100°	„ 250 kg/cm²
I	„ 45°, „ 65°	„ 125 kg/cm²
X	„ 45°	„ 125 kg/cm²
X	funkensichere Isolierstoffe.	

Solche Isolierstoffe, die zur Verwendung unter besonderen Bedingungen immt sind, z. B. zur Herstellung von Isolierteilen, die betriebsmäßig : Spannung von mehr als 750 V ausgesetzt sind, die in außergewöhn- ›r Weise auf Schlag beansprucht werden oder die chemischen Einflüssen ›rstehen müssen, sind als Sonderpreßmassen anzusehen.

Feststellung der Klasse geschieht auf Grund der Ergebnisse nach vorher angeführten Prüfungsvorschriften für die gekürzte Unter- ıung elektrischer Isolierstoffe. Ein eingepreßtes geschütztes Zeichen welches dann noch die Kennummer der Firma und die Klassen- nummer erhält, sichert die Qualität des Isolierstückes. Das Staatliche Materialprüfungsamt in Berlin-Dahlem ist als Nach- prüfungsstelle eingesetzt.

Die Liste I_1 Normale Preßmassen der Vereinigten Isolatorenwerke }. Berlin-Pankow ist auf Grund dieser Vereinbarungen hergestellt. Auf diese Weise wird dem Verbraucher ein Nichtleiter mit gewähr- eten Eigenschaften in die Hand gegeben. Bekannte Isolierpreß-

Bekanntmachung betr. Isolierpreßmassen.

In Zahlentafel 1 wird eine Anzahl nicht keramischer, ımifreier Isolierpreßmassen bekanntgegeben, die nach ETZ 4, S. 730 (Nachtrag ETZ 1925, S. 979) klassifiziert sind. in der ETZ 1924, S. 732 bekanntgegebene Tafel wird mit außer Kraft gesetzt.

Die in der Zahlentafel genannten Firmen sind gemäß rwachungsvertrag mit dem Amt berechtigt, auf Isolier-, die aus den in der Zahlentafel erwähnten Preßmassen gestellt sind, das in der ETZ 1925, S. 865 bekanntgegebene, Kopf dieser Bekanntmachung stehende Zeichen aufzusen; die zu jeder Firma gehörige Nummer, welche in dem oberen freien Feld des Schutzzeichens die betreffende Firma kennzeichnet, ist in Sp. 2 der Tafel angegeben, die im unteren freien Feld des Schutzzeichens enthaltene Klassennummer der klassifizierten Preßmassen im Kopf der dritten, vierten usw. Spalte.

Weitere Bekanntmachungen werden nach Bedarf folgen.

Berlin-Dahlem, den 26. IX. 1925.

Staatliches Materialprüfungsamt.
(gez.) W. v. Moellendorff.

Zahlentafel 1.

Firma	Kenn-Nr. d. Firma i. Schutzzeichen	Klasse									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	X
Adt, Aktiengesellschaft, Ensheim (Saargebiet)	36	—	—	Australit F	—	—	—	—	—	—	Australit Z
emeine Elektricitäts-Gesellschaft, Kabelwerk Oberspree, Berlin-Oberschönweide	38	Tenacit 6 Tenacit 8	Tenacit 8a schwarz	Tenacit 8 Aa	Tenacit 1	—	—	Tenacit 8a rot	Tenacit 4	—	Tenacit 2
Aron, Elektrizitätszählerfabrik G. m. b. H., Charlottenburg	35	—	—	—	—	—	—	—	Aronit 8	—	—
mann-Elektricitätswerke, Aktien-Gesellschaft, Werke Rosenthal, Berlin-Rosenthal	29	—	—	—	—	—	Fulgurit	—	—	—	—
ümmer & Dietrich, Dresden-A.	28	—	Tolzit T 2	Tolzit T 3	—	—	—	—	Tolzit T 8	—	—
tro-Schieferwerk Drittler & Erlanger, Nürnberg	30	—	—	Assularit	—	—	—	—	—	—	—

werke A.-G., Birkesdorf bei Düren	40	—	—	Fermit I a Fermit III	—	—	—	—	Luxit V	—	Fermit I extra
lebrüder Merten, Gummersbach (Rheinld.)	24	—	—	Merit 3	—	—	—	—	Merit 8	—	—
solith-Kunstmassenwerke m. b. H., Nürnberg (Ostbahnhof)	26	Stemalith 1	Stemalith 2	Stemalith K 2 Stemalith K 3	—	—	Stemalith 6	Stemalith 7	Stemalith 8	—	Stemalith K 4
einisch-Westfälische Sprengstoff-Aktien-Gesellschaft, Celluloidfabrik Troisdorf	43	—	—	Gummon 25 Gummon 26	Gummon 12	—	—	—	Gummon 180	—	Gummon C
H. Römmler A.-G., Berlin	32	—	Resistan rotbraun	Resistan hell	Resistan braun Resistan schwarz	—	—	Heliosit A	Heliosit B	—	Resistan E
eutsche Isolatorenwerke G. m. b. H., Freiburg i. Br.	25	Ricolit 7	—	Ricolit 8	—	—	Ricolit 6	Ricolit 5	Ricolit 2 Ricolit 3	—	—
ium-Preßgut Gesellschaft m. b. H., Habelschwerdt (Schles.)	27	Qual. M. V. A.	—	Qual.150	Qual. 75	—	Qual. M. V. H.	Qual. E a a	—	—	—
einigte Isolatorenwerke Aktiengesellschaft, Berlin-Pankow	31	Ambroin BK	Margolit SEZ	Margolit REZ	Margolit EZ 26	—	—	—	Ambroin G Ambroin WAP	—	Ambroin NFW
stfälisch-Anhaltische Sprengstoff-Aktien-Gesellschaft, Berlin	41	Wasagit Ba 1	Wasagit Ba 2	Wasagit A 3 Wasagit H	Wasagit A 4	—	—	—	Wasagit P 2	—	Wasagit W
Wolff & Co., Walsrode	33	—	Kiwit IV	Kiwit VIII	—	—	—	—	—	—	—

XIII. Die Imprägnierung der Faser.

Eigenschaft und Verhalten von Hanf, Jute, Baumwolle, Nessel, Kunst- und Naturseiden, Zellstoff, Asbest und anderen Fasern, welche isoliertechnisch Bedeutung besitzen, sind aus Schrift und Abbildungen der Spezialliteratur zu entnehmen, ebenso ihre Gewinnung, Aufbereitung und Verarbeitung zu Geweben, ferner die Untersuchungsmerkmale und Methoden zur Erkennung und Quantitätsbestimmung in Fertigfabrikaten.

1. Um den Vorgang der Erzielung elektrischer Festigkeit in Fasern, Fasergebilden und faserhaltigen Massen am leichtesten zu übersehen und die hier notwendigen Maßnahmen am sichersten zu treffen, stellt man sie sich zweckmäßig in millionenfacher Vergrößerung vor. Es ergibt sich dann ein Bild, welches die ungleichförmige Struktur, die tausendfachen groben und feinen Spitzen, das vielseitige Netz von schmalen und breiten Kanälen, die verschiedenartigen Einschlüsse usw. in greifbarer Form erkennen läßt. Die so gewonnene Anschauung zwingt direkt dazu, in diesen mikroskopisch kleinen Ausmessungen und Räumen die Erfahrungen in Anwendung zu bringen, welche uns als Grund der früheren Ausführungen für die Herstellung elektrischer Hochspannungsisolierstoffe zur Verfügung stehen, also z. B. das richtige Bindemittel auszusuchen und Fabrikationsprozesse zu ersinnen, wie die dielektrische Verbindung zwischen Faser und Bindemittel am vollkommensten herbeizuführen ist.

2. Bei der mikroskopischen Betrachtung von faserigen Stoffen wird man gewahr, daß diese von unendlich vielen feinen Röhrchen durchsetzt sind, welche die Eigenschaft besitzen, stark Feuchtigkeit aufzusaugen und ihr Inneres sowie ihre Oberfläche mit Wasser zu durchsetzen. Man hat nicht nötig, zu diesem Zweck die Fasern, das Gewebe oder das Papier direkt in eine Flüssigkeit zu bringen. Schon der Wasserdampf, welcher sich in der Luft befindet, wird begierig von den haarfeinen Kanälchen aufgenommen. Es stellt sich ein Gleichgewicht zwischen dem Feuchtigkeitsgehalt der Umgebung und dem Fasermaterial her, welches sich jeweilig in kurzer Zeit mit dem Dampfgehalt der Luft ändert.

Die Erscheinung, welche hier auftritt, nennt man Kapillarität oder Haarröhrchenwirkung. Wird z. B. eine offene Glasröhre von sehr kleinem lichten Durchmesser mit ihrem unteren Ende in Wasser getaucht, so stellt sich die Oberfläche in dem Röhrchen höher ein als der Spiegel der die Röhre außen umgebenden Flüssigkeit. Die molekularen Kräfte der Oberflächenschicht erzeugen eine Spannung, welche sich mit derjenigen einer gestrafften Haut vergleichen läßt. Sie zeigt das Bestreben, ihre Fläche dadurch so klein wie möglich zu machen, daß sie sich eng an das Rohrinnere anschmiegt, die Anziehungskraft der Glaswände wird also größer wie die Wirkung, welche die Schwerkraft ausübt. Um zum Gleichgewichtszustand zu kommen, muß daher im Fall Glas/Wasser das Wasser im Glaskanälchen steigen. Die Höhe

leich, der Meniscus besitzt eine konkave Form. Hat das Glasrohr . B. einen Durchmesser von 2 mm, beträgt die Steigerung des Wassers 5 mm. Ist er 1 mm, steigt es 30 mm, ist er 0,5 mm, beträgt die Steige- ung 60 mm usw. Alkohol und leichtflüssige Kohlenwasserstoffe zeigen n Glasröhrchen ungefähr die Hälfte dieser Kapillarität.

Es gibt aber Flüssigkeiten, die vom Material des Haarröhrchens icht benetzt werden, z. B. Quecksilber nicht von Glas. Die Kohäsion es Quecksilbers ist hier größer wie die Adhäsion der Glaswand. Es ndet daher kein Steigen, sondern ein Fallen der Oberfläche des Rohr- mern unter den Spiegel der umgebenden Flüssigkeit statt. Der Me- iskus hat eine konvexe Form.

Die eben angeführte Wirkung des Abstoßens der im Kapillar- öhrchen befindlichen Flüssigkeit durch das Material des Röhrchens ndet z. B. statt, wenn die Wände harz- oder fetthaltig sind. Mithin it hier der Vorgang, welchen man als Benetzung bezeichnet, nicht nöglich. Dieser Fall kommt bei der Herstellung von Nichtleitern häu- g vor, so daß man ihm deshalb Beachtung zu schenken hat.

3. Daß eine elektrische Spannungsdifferenz auf die im Kapillar- öhrchen eingeschlossenen Flüssigkeiten Wirkungen ausübt, wissen wir chon lange, u. a. durch das Lippmannsche Kapillarelektrometer. Hier ist das Haarröhrchen aus Glas, es enthält Quecksilber und ver- ünnte Schwefelsäure. Quecksilber nimmt beim Eintauchen in Schwefel- äure ein positives Potential an. Gelangen weitere positive Ladungen on außen auf die Oberflächenschicht des Quecksilbers, so wird die berflächenspannung verkleinert, weil die Abstoßung durch die beider- eitigen positiven Ladungen den Kapillarkräften entgegenwirkt, welche ach den vorherigen Ausführungen bestrebt sind, eine Verminderung der berfläche herbeizuführen. Die Quecksilbersäule bewegt sich daher in eigender Richtung. Umgekehrt fällt sie, wenn Elektronenzufuhr erfolgt.

4. Die unter der Wirkung des elektrischen Feldes in Fasern auf- etenden Erscheinungen hat man künstlich nachzuahmen versucht. o wurden enge Glasröhren mit Wasser, bekannten Lösungsmitteln, ohlenwasserstoffen, Öl, suspendierten Teilchen, Emulsionen u. a. m. efüllt und unter Gleichstrom und Wechselstrom beobachtet.

Unter Berücksichtigung des bisher Bekannten ist nicht viel Neues abei herausgekommen. Denn man wußte bereits, daß Wechselstrom ei Vorhandensein von Spitzenelektroden durch Drosselung der posi- ven Wechsel zu einem Teil in Gleichstrom übergeht, welcher sich dem Vechselstrom überlagert, ferner, daß durch Zuführung elektrischer La- ungen die Oberflächenspannung geändert wird, daß sich die in den aarröhrchen enthaltenen Lösungen und Suspensionen, Emulsionen . dgl. den Gesetzen der Elektrolyse und Elektroosmose fügen. Die atsache, daß erst bei einer bestimmten Felddichte hohe Erwärmung, ersetzung, Verdampfung, Ozon- und Salpetersäurebildung und die ieraus entstehenden Durchschläge zustandekommen, erklärt sich in nfacher Weise.

5. Für die Fabrikation von Hochspannungsnichtleitern besteht die

isolierenden Bindemitteln sämtliches Wasser aus den Fasern und den sonstigen Bestandteilen herauszuholen ist.

Diejenige Methode, welche sich im vorliegenden Fall am wirksamsten erweist, aber keineswegs überall angewendet wird, besteht darin, daß man z. B. ungeleimtes Papier erst bei niederer Temperatur unter Luftleere trocknet, dann das so vorbehandelte Papier in wasserfreies Benzol oder ein ähnliches Lösungsmittel bringt, unter Umständen mit kleinen Mengen eines die Faserporen auskleidenden wasserabweisenden Mittels. Den Siedepunkt des Wassers überschreitet man im Hinblick auf die vorhandene Verzögerung in der Verdampfung um 10—20° und bewegt die Papierbahn vorsichtig in der heißen Flüssigkeit.

Schon jetzt einen imprägnierenden Zusatz zu nehmen, der seiner Menge nach gering ist, hat folgende Vorteile: Geringfügige Zusätze gelangen besser in die feinsten und tiefsten Kanälchen der Faser, außerdem wird dem Lösungsmittel die Möglichkeit gegeben, bei dem feinen Überzug, welcher sich auf den Faserwänden niederschlägt, leicht austreten zu können. Ebenso ist ein günstiges Moment, daß die Kanälchen durch zu viel Imprägniermasse noch nicht verstopft werden, infolgedessen auch beim Absaugeprozeß im Vakuum das Lösungsmittel bequem austreten lassen. Mechanisch wird das Papier durch die wenn auch geringe Lackierung mit einem Bindemittel immerhin verbessert.

Die Beschaffenheit der isolierenden Masse, mit welcher man die Fasern verstopfen will, ist entscheidend für die dielektrischen Eigenschaften. Die Faser selbst bestimmt lediglich das mechanische Verhalten.

6. Aber erst die richtige Verarbeitung von hochwertigem Bindemittel mit dem Faserstoff ergibt das betriebssichere Isoliermaterial. Große Mengen von Hochspannungsnichtleitern werden in der Weise hergestellt, daß man lufttrockenes Papier benutzt und dieses in Lackiermaschinen meist einseitig mit Lack versieht, indem das Lösungsmittel desselben, z. B. Alkohol, infolge Führung der Papierbahn über heiße Walzen verdampft wird. Dieses Lackpapier wickelt man darauf in Spezialmaschinen auf Stahldorne auf. Elektrisch oder mit Gas geheizte Stahlwalzen, welche außer Hitze noch Druck auf das Papier übertragen, schmelzen den Lack und kleben die Lagen zusammen, so daß ein aus vielen Schichten Papier/Lack/Papier/Lack usw. bestehender mechanisch sehr widerstandsfähiger Körper gebildet wird. Als Klebemittel wird hier Schellack benutzt, in letzter Zeit aber vor allem auch das synthetische Harz „Bakelite“.

Bakelite-Erzeugnisse werden in größtem Maßstabe von vielen bedeutenden Fabriken angefertigt und finden eine vielseitige Verwendung im Transformatorenbau und in der gesamten Hochspannungstechnik, jedoch nicht an Stellen, wo sie den Witterungseinflüssen ausgesetzt sind.

Die Schwächen dieser leicht bearbeitbaren zähen Hartpapiernichtleiter, welche auch durch Pressen von Lagen in heißen Matrizen entstehen, liegen in ihrem Schichtenaufbau. Sie besitzen längs der Lagen nur 10 vH ihrer elektrischen Festigkeit wie quer dazu. Ferner

piersubstanz oxydieren und durch eine leitende Kohlebahn die
rung der Isolation und des Isolators einleiten. Eine Behandlung
l und Lacken, welche man dem gewickelten fertigen Hochspan-
-Hartpapierisolierkörper zuteil werden läßt, pflegt die Verwend-
t zu erhöhen. Die Verschiebbarkeit beträgt 3,5—5. Ein schichten-
Material, welches bei kleinen und großen Zylindern an die Stelle
aus Wickellagen bestehenden Papiernichtleiter tritt, bedeutet
technisch einen Fortschritt.

Was eben im besonderen über Papier gesagt ist, gilt in derselben
von Dielektrizis aus anderen Faserstoffen. Das Streichen mit
n und Lösungen kann wohl die Deckschicht widerstandsfähig
n, aber nicht die ganze Masse. Es wird nur ein oberflächlicher
nd geschaffen, der deshalb bedenkliche Seiten hat. Ein großer tech-
r und isoliertechnischer Fortschritt ist die Imprägnierung durch
anzen Stoff hindurch. Man sucht sie dadurch vorzunehmen, daß
isch nicht leitende Kohlenwasserstoffe, künstliche und natürliche
und ähnliche Körper im Schmelzzustand die Poren der Faser-
durchsetzen. Der vollkommenste Fall besteht darin, daß man sich
ler durch Erwärmung leicht flüssig werdenden Körper bedient.
t durchzuführen ist eine vollkommene Tränkung aller Poren und
chen von außen her durch Eintauchen der erwärmten Fasermassen
Schmelzen nicht. Es entstehen hier deshalb Schwierigkeiten,
lie Schmelzen ein zu geringes Penetrationsvermögen besitzen.
nnt man die Schmelzen, gestaltet sich der Vorgang so, daß der
e Stoff vorzugsweise die Oberflächenschicht durchsetzt. In die
n Teile wird das zugesetzte leichtbewegliche Lösungsmittel hinein-
rt. Diese Verhältnisse sind natürlich unerwünscht und führen
zum Ziel. Da die Schmelzkörper in den meisten Fällen nicht
tlich zusammengesetzt sind, findet beim Einsickern der Schmelzen
Fasermasse auch ohne Lösungsmittel eine Trennung der Bestand-
tatt, welche isoliertechnisch nachteilig wirkt. Hochspannungsnicht-
stärkerer Dimensionen herzustellen, ist infolgedessen nicht möglich.
)ielektrisch ganz vorzügliche Tränkmittel sind die Paraffine,
e bei der Destillation von Holz, Torf, Braunkohle, bituminösen
fern, Baku-Petroleum u. a. gewonnen werden. Sie bestehen im
n Zustande in Form blätteriger Kristalle der Hauptsache nach aus
kohlenwasserstoffen C_nH_{2n+2} und besitzen Siedepunkte von über
C. In Äther, Schwefelkohlenstoff, Benzin und Alkohol sind sie
n. Ihr Schmelzpunkt liegt zwischen 30° und 90°. Mit Harzen,
n, Ölen, Stearin, Wachs sind sie in jedem Verhältnis zusammen
elzbar. Natürliche Paraffine sind das Ozokerit, welches haupt-
ich aus Galizien und Rumänien stammt, und das Neftigil aus der
er Petroleumgegend. Die Reinigung von harzigen Bestandteilen wird
onz. Schwefelsäure vollzogen und dann noch eine zweite Destilla-
vorgenommen. Zeresin ist Ozokerit, welches später gebleicht wird.
)ie Paraffine sind stark wasserabweisend. Die spez. Gewichte sind
ger wie das von Wasser, ihre elektrische Festigkeit ist bedeutend.

Isoliertechnisch bemerkenswert ist der Umstand, daß die Durchschlagswerte dieses sicher an und für sich elektrisch sehr festen Materials stark streuen. Wahrscheinlich drücken die beim Abkühlen sich voneinander scheidenden kristallinen und amorphen Gebilde die Homogenität der Masse herab. Es war früher vom Schwefel schon in ähnlicher Weise berichtet. Wahrscheinlich wird auch eingeschlossene Luft an diesen Unregelmäßigkeiten mit beteiligt sein. Ebenso ist ziemlich sicher, daß Feuchtigkeit in den gewöhnlichen Paraffinschmelzen zurückgehalten wird.

Wurde bei 54° C schmelzbares Paraffin zur Hälfte mit Zeresin, das bei 72° C flüssig wird, zusammengeschmolzen, so hat sich nach den Feststellungen des Telegraphentechnischen Reichsamtes ergeben, daß der Leistungsfaktor dieser erkalteten Mischung nicht, wie man annehmen könnte, zwischen den an Paraffin und Zeresin vorher festgestellten Werten liegt, sondern daß dieser, welcher den Verlusten verhältnisgleich ist, sich als größer erweist wie bei dem der Bestandteile. Die Zuhilfenahme eines besseren Materials hat mithin die durch Zusammenschmelzen sich ergebende Masse dielektrisch verschlechtert. Zweifellos ist das Material ungleichmäßiger geworden durch unvollkommene Lösungs- und Kristallisationsvorgänge.

Schering und Schmidt benutzten Paraffin, um damit Untersuchungen über die dielektrischen Verluste anzustellen. Die reine Paraffinsubstanz zeigt diese in verhältnismäßig geringem Maße. Sie brachten in die Schmelze fein verteilten Koks, Graphit und andere Stoffe mittlerer Leitfähigkeit und von abweichender Dielektrizitätskonstanten und fanden, daß sich durch die Einführung der Fremdkörper in das Paraffin die Erscheinung von Nichtleitern mit ausgeprägter dielektrischer Nachwirkung einstellt. Die bisher nicht veröffentlichten Forschungen hierüber harren noch der Weiterführung.

Sättigt man entfeuchtete Fasermasse, wie Papier, Baumwolle Asbestgewebe u. a. mit Paraffin, so erreicht man ein Höchstmaß von elektrischer Festigkeit, wenn man einen starken mechanischen Druck auf das getränkte Fasermaterial ausübt, während sich das Paraffin noch im Schmelzzustande befindet. Die Abkühlung hat unter Druck zu erfolgen.

Die Nachteile von Paraffinpapier und Paraffinbändern beruhen in ihrer geringen Widerstandsfähigkeit gegen Erwärmung und in dem Mangel an Klebfähigkeit. Es findet dadurch eine erhebliche Beschränkung in der Verwendung dieser dielektrisch vorzüglichen Fabrikate statt. Sie sind im übrigen gasdicht und durch chemische Einflüsse schwer veränderlich.

8. Wachs, künstliche und natürliche Harze, Trockenöle, Kohlenwasserstoffe, Firnisse, Asphalte, Peche, Fette usw. werden in ausgedehntem Maße als isolierende Bindemittel benutzt und haben teilweise gegenüber Paraffin den Vorzug einer bedeutenden Wärmefestigkeit und Klebkraft. Eine mikroskopische Beobachtung über die Vorgänge, wie die Lösungen oder Schmelzen dieser Stoffe von dem Papier- oder Ge-

ıdenen faserigen Masse aufgenommen werden, zeigt in deutlicher ise, daß die feinsten Spitzen sich sofort des Lösungsmittels bechtigen, eine überall feuchte Oberfläche schaffen und weiter, daß gelöste Stoff umsomehr an einem Eindringen ins Innere gehindert d, je komplexer seine Moleküle sind. Tierische, pflanzliche und ıstliche Fasern sind kolloide Gele, welche mit der Trocknung immer hr die Fähigkeit des Quellens einbüßen. Die Lösung selbst wird desb noch aufgenommen, aber die Molekeln des gelösten Körpers ihrer ßße halber nicht mehr. Die feinen Kanälchen in vegetabilen Fasern itzen einen Durchmesser in der Größenordnung von milliontel Millitern, die Moleküle der Bindestoffe sind wesentlich umfangreicher. ; ergibt sich das Bild, daß selbst nach einer unter Luftleere vorgenmenen Trocknung, welche das Verjagen der Lösung zum Ziel hat, äußere Schicht durch eine feste Lackkruste gekennzeichnet ist, dann e noch feuchte bzw. kleberige Zone folgt, darauf eine Schicht, die ;h reines Lösungsmittel enthält und schließlich ein lösungs- und ıdemittelfreies Inneres vorhanden ist. Daß Fasern, die mit Feuchtigt getränkt sind, infolge Aufgabe ihres festen Zusammenhaltes erhebı an mechanischer Reißfestigkeit einbüßen, liegt auf der Hand. ß verdünnte Lösungen infolge verminderter Reibung besser in das serinnere eindringen als konzentrierte, ist ebenfalls klar. Mit ıen erreicht man aber wiederum nicht die erwünschte Füllung der ren.

9. Auch in bezug auf die Benetzung lassen sich durch optische Be-chtung wertvolle Wahrnehmungen machen. Man stellt Luftein-lüsse fest, welche der eindringenden Imprägnierungsflüssigkeit in ı Weg treten. Oft sind ganze Fäserchen von Luft umhüllt, welche t einer Zähigkeit daran haftet, daß sie sogar durch mechanische schütterungen nicht entfernt werden kann.

Je dichter das Fasergewirr ist, um so schwieriger gestaltet sich ı Durchsetzung mit der nichtleitenden Substanz. Selbst im besten d günstigsten Fall bleibt die Methode der Imprägnierung ein Belf, denn quantitativ bringt man das Lösungsmittel, welches sich n dem darin gelösten Körper abfiltriert hat, nicht aus den Tiefen r Kanälchen heraus. Auch im Lack bleiben Spuren von Lösungstteln sitzen. Die äußere Lackschicht ist außerdem ein Hindernis für s Austreten der Luft und der Lösungsmitteldämpfe. Alkohol hat eine sondere Neigung, Feuchtigkeit aus der Luft aufzunehmen, welche f diese Weise in die Poren gelangt.

Dies sind die Gründe, weshalb faserhaltige Massen einer gewissen ärke durch Behandlung mit imprägnierenden Lösungen niemals beebssichere elektrisch isolierende Stoffe werden. Das Imprägnierrfahren soll man daher nur bei dünnen Schichten in Anwenng bringen.

Legt man an Papier oder Gewebe, welche nur mäßig imprägniert ıd und in der Faser oder im Bindemittel Luft oder Feuchtigkeit er beides enthalten, eine Potentialdifferenz, so können wir, während

elektrolytische und elektroosmotische Vorgänge beobachten. Die Fäserchen betätigen sich dabei als Mittelleiter-Elektrode. Eine mikroskopische Untersuchung gibt über den Verlauf der Zerstörung wissenswerte Aufschlüsse, insbesondere läßt sich der Weg, welchen die Stromgänge nehmen, verfolgen.

10. Während die mit natürlichen Harzen, Kohlenwasserstoffen und dergleichen Körpern getränkten Nichtleiter nach Austreibung des Lösungsmittels fertig sind, müssen die mit trocknenden Ölen, z. B Leinöl, oder mit Stoffen, wie chinesischem Holzöl hergestellten Isoliermaterialien längere Zeit an der Luft liegen, damit sie in der Lage sind Sauerstoff aufzunehmen. Die Bakelitekörper bedürfen noch einer anderen Behandlung, wie später gezeigt wird.

11. Ein elektrisches Isoliermaterial, dessen Fabrikation in diesem Kapitel im Abschnitt 6 gekennzeichnet ist, ist z. B. das von den Isola-Werken A.-G., Düren, aus Papierschichten und Bakelite als Bindemittel für Hochspannungszwecke hergestellte „Carta". Es wird vorzugsweise in Röhren und Platten geliefert, aber auch in einfachen Formstücken. Die Plattengröße beträgt bis zu 1500 × 800 mm bei Wandstärken von 0,2—10,0 mm. Die Röhren können bis 2200 mm Länge und einem Durchmesser von 1500 mm in beliebigen Wandstärken angefertigt werden.

Die Masse läßt sich mit geschränkten und konisch geschliffenen Kreissägen bei einer Tourenzahl von 2000—2500 je Minute bequem unter Erzielung eines glatten Schnitts zerteilen und auch bis zu 3 mm starken Stücken stanzen. Das Drehen geschieht mit naturharten Stählen, welche immer gut scharf sein müssen, mit einer Geschwindigkeit von 20 m je Minute. Gebohrt wird Carta zweckmäßig unter Benutzung von Deckschichten.

Bei der mechanischen Bearbeitung ist nicht außer acht zu lassen, daß diese Art von elektrischen Nichtleitern trotz ihrer Zähigkeit und Härte aus Schichten zusammengesetzt sind. Im übrigen stellen sie auch schlechte Nichtleiter der Wärme dar.

Das spezifische Gewicht der hell- bis dunkelbraunen, teilweise auch schwarz und hochglanz polierten Fabrikate ist in Form von Platten 1,4—1,45, in Röhren 1,25—1,35.

Die Zugfestigkeit beträgt etwa 700 kg/cm², die Biegefestigkeit 1200 kg/cm², die Druckfestigkeit 2500 kg/cm², die Brinellhärte bei Röhren 20—30, bei Platten 30—40. Der Elastizitätsmodul ist ungefähr 100000, die Schlagarbeit 12—15 cm kg/cm². Die Wasseraufnahme nach den VDE-Vorschriften ist bei Platten 1,0 vH, bei Röhren 1 bis 2 vH. Die Hitzebeständigkeit geht bis zu 150° C hinauf. Die Dielektrizitätskonstante ist 4,2.

Von heißen Mineralölen und von verdünnten Säuren und Laugen wird Carta nicht angegriffen. Es ist brennbar, brennt aber entsprechend der VDE-Stufe 1 nicht weiter.

Der Oberflächenwiderstand beträgt 1000000—100000 $M\Omega$ (VDE-Vergleichszahl 4).

Bei Benutzung scheibenförmiger Messingelektroden von 70 mm
ɔhmesser mit abgerundeten Rändern ergeben sich folgende Durch-
agsfestigkeiten:

bei 1— 3 mm	Wandstärke	20 kV/mm	
„ 4— 5 „	„	15	„
„ 6— 8 „	„	12	„
„ 9—10 „	„	10	„

Wie bei allen Isolierstoffen sinkt auch bei Carta die elektrische
igkeit erheblich mit Zunahme der Temperatur.

Die elektrische Festigkeit hängt davon ab, in welchem Maß die
tprodukte des Bakelites beim Übergang in die Modifikation C aus
Masse herausgezogen werden. Mit wachsenden Wandstärken gelingt
immer schwieriger, infolgedessen geht dann die elektrische Festig-
zurück. Hartpapierfabrikate, welche in heißem Öl Verwendung
ɔn sollen, sind nach der Herausnahme aus den hydraulischen Pressen
zubehandeln.

Zur Bestimmung der elektrischen Eigenschaften wurden Carta-
ben vorerwärmt, bis sie innen und außen eine Temperatur von
C besaßen, und dann in Öl von 110° C 30 Minuten lang senkrecht
Schichtebene mit Wechselstromspannung von 50 Per/s belastet.
ei ergaben sich folgende Durchschlagswerte:

bei 1 mm	Wandstärke	17,0 kV/mm	
„ 3 „	„	10,0	„
„ 5 „	„	7,0	„
„ 6 „	„	5,5	„
„ 8 „	„	4,0	„
„ 10 „	„	3,0	„

Bei Beanspruchung des Materials in Richtung der Schichten soll
nicht über 1 kV/mm der Prüfspannung hinausgehen.

12. Durax, ein Hochspannungsmaterial der Isola-Werke A.-G aus
toff und Bakelite, ist nicht geschichtet. Es wird in Form von
gen, Platten und Formstücken der schwierigsten Art mit und ohne
ɔpreßte Metallteile geliefert. Das spezifische Gewicht beträgt 1,35.
Biegefestigkeit ist 600 kg/cm², die Druckfestigkeit 5000 kg/cm², die
ɘldruckhärte nach Brinell 4,5, der Elastizitätsmodul auf Grund
Durchbiegung 60000, die Feuchtigkeitsaufnahme nach 24stündiger
ɜerlagerung 0,001 vH. Normalstäbe von 10 × 15 mm Querschnitt
dern zum Zertrümmern eine Schlagarbeit von 11 cmkg. Die Durch-
gsfestigkeit beläuft sich bei dicken Platten auf ungefähr 10 kV/mm,
lünnen auf 15 kV/mm. Wärmebeständig, auch in heißem Öl, ist
x bis zu 160° C. Die mechanische Bearbeitung durch Drehen,
ɘln, Fräsen, Bohren, Schleifen und Polieren gestaltet sich ähnlich
bei Carta und ist daher sehr einfach. Auch lassen sich gut halt-
Gewinde einschneiden.

Die Schichtenlagerung ist also bei Durax vermieden. Auf die bei
Herstellung angewendete Richtung des Preßdrucks ist aber Rück-

XIV. Das Verschmelzen der Faser.

Ein von der Imprägnierungsmethode grundverschiedenes Verfahren ist die Herstellung von Nichtleitern mit Hilfe f e s t e r isolierender Schmelzkörper, welche für diesen Zweck in den staubfein gemahlenen Zustand übergeführt werden.

Die Kolloidchemie gibt Auskunft über die Eigenschaften solcher feingepulverten Stoffe. Sie besitzen in ihrer Wirkungsweise große Ähnlichkeit mit Flüssigkeiten, und zwar umso mehr, je feiner sie sind. Andererseits bewahren sie aber wertvolle Eigenschaften, welche sonst festen Körpern zukommen.

1. Wenn man eine faserige, ebenso wie jede beliebige andere Masse imprägniert, muß im allgemeinen zunächst der fertige Körper da sein. Die Imprägnierungslösung schon bei der Zusammensetzung und Aufbereitung der Masse zuzusetzen, verschlechtert diese oftmals nicht bloß, sondern kann den ganzen herbeizuführenden mechanischen Zusammenhalt vernichten. Chemische Kräfte wirken nur in geringer Weise aufeinander ein, wenn Harze oder Kohlenwasserstoffe in halbwegs konzentriertem Zustande die Reaktionskörper in alkoholischer oder Benzollösung umgeben. Fasern verlieren in derartigen Fällen ihren inneren Verband. Sie lösen sich voneinander, die Verfilzung wird locker, Aufquellung tritt ein.

Ganz anders verhalten sich kolloidal feingemahlene Körper. Wird derartiger, wasserabweisender, schmelzbarer Staub den Stoffen bei ihrer Zusammensetzung zugefügt, so ist er im allgemeinen zunächst nichts anderes als ein Füllmittel. Chemische Reaktionen werden ganz wenig oder überhaupt nicht dadurch beeinträchtigt, faserige Massen erleiden keine Veränderung. Der Staub benimmt sich neutral.

Die Vorbedingung für die Herbeiführung einer elektrischen Isolierung besteht, wie sich aus den früheren Darlegungen ergibt, darin, daß das nichtleitende Bindemittel überall die faserigen und sonstigen Bestandteile des herzustellenden Isolierkörpers ohne Zwischenräume zu umgeben hat. Also muß in erster Linie der Staub außerordentlich fein und gleichmäßig mit allen Bestandteilen des Körpers vermischt werden.

2. Um dies zu erreichen, ist der Grad der Mehlfeinheit des isolierenden Schmelzkörpers von großer Bedeutung. Je feiner das Pulver ist, um so größer wird die Oberfläche, welche für die Umlagerung des faserigen Gerippes und der Füllstoffe zur Verfügung steht. Man kann sich hier durch Rechnung ungefähr die Verhältnisse klarmachen.

Außerdem ist leicht ersichtlich, daß ein pulverisiertes Material um so leichter in die feinen Kanäle der kristallinisch gelagerten Zellstoffmoleküle eindringt, je mehr es in den staubförmigen Zustand übergegangen ist.

Isolierende Bindemittel können heute in der Technik durch Saugschläuche in außerordentlich feinverteiltem Zustande hergestellt werden. Ebenso besitzen wir Vorrichtungen, um Faser, Füllmittel und Staub in denkbar höchster Vollendung miteinander zu mischen.

3. Bedeutet in diesem Fall die „vollkommene Tränkung mit Staub“

so kommt als zweite Forderung die richtige Verschmelzung der
fe hinzu. Wann diese durchzuführen ist, hängt von der Art der Ver-
lung ab, welcher die Nichtleiter dienen sollen, aber auch von der
nischen Zusammensetzung der jeweilig als Staub zugesetzten iso-
nden Bindemittel. Deshalb wird oft die Verschmelzung zweck-
ig zugleich mit der Formgebung des Isolierkörpers verbunden,
wenn pulverisierte härtbare Phenolharze als Schmelzkörper be-
t werden.

So soll z. B. eine Mischung bestehen aus Kraftzellstoff, Mineral-
, Kohlenwasserstoffstaub, Wasser und Luft. Alle diese Stoffe be-
en sich in innigster Verteilung untereinander. Sie werden über
Siebzylinder einer Papiermaschine geschickt und in feuchte Papier-
n übergeführt.

Bei der Herstellung von Hartpapier nach dem vorher angegebenen
kel- oder Preßverfahren verfährt man, wie dies früher beschrieben
in der Weise, daß das Papier durch die heißen Walzen lufttrocken
acht und dann am anderen Orte ein- oder zweiseitig mit Lack be-
hen wird. Solche Papiere enthalten also Feuchtigkeit und Luft und
len in diesem Zustand zu Nichtleitern zusammengeklebt.

Die Fabrikation von Hartpapier mit Hilfe von staubförmigen
nelzkörpern verlangt zunächst die übliche Trocknung des mit
nelzkörpern durchsetzten Papiers. Aber es hat noch ein anderer
eß von ausschlaggebender Bedeutung hinzuzukommen, nämlich
Entfernung aller Feuchtigkeit. Nicht das, was man als Trocknung
ezeichnen pflegt, führt hier zum Ziel, sondern die Ausschaltung der
ktrisch gefährlichen Wasserreste, bevor die Temperatur auf die-
ge Höhe gebracht wird, bei welcher das staubförmige Bindemittel
ilzt.

Das Absaugen der Feuchtigkeit aus dem sehr porösen Material
ieht sich leicht bei erniedrigter Temperatur unter Luftleere. Durch
endung von abgestuftem mechanischen Druck, z. B. durch Heiz-
en, preßt man auch die Luft heraus.

Durch Auswahl verschiedenartiger Bindemittel lassen sich natur-
iß auch verschiedenartige Eigenschaften der Papiere und damit
nieraus hergestellten Isolierkörper erzielen. Der Bindemittelzusatz
nflußt das dielektrische Verhalten auch durch seinen prozentualen
tz.

Fossile Asphalte und auch andere Kohlenwasserstoffe besitzen eine
bliche Haftadsorption der Faser gegenüber. Je höher der Schmelz-
kt des Bindemittels ist, um so wärmebeständiger wird das isolierende
er. Der Zellstoff soll darin in allen drei Richtungen kreuz und quer
gert sein, damit eine große mechanische Güte erreicht wird. In einem
ig verschmolzenen Papier schaden die Fäserchen nicht mehr, weder
zug auf die elektrische Festigkeit, noch auf ihre Neigung, Feuchtig-
aufzunehmen. Sie sind im Bindemittel vollständig eingebettet.

Die Faser, ob sie aus Papier-, Baumwollzellulose oder sonst einem
ren organischen oder mineralischen Faserstoff besteht, soll chemisch

Salze oder Säurereste vom Koch- oder Bleichprozeß her oder lingninhaltige Bestandteile oder sonstige leicht zersetzliche Beimengungen enthalten, setzen selbst in gut verschmolzenem Zustande die elektrische Festigkeit herab.

Der Prozentsatz an Bindemitteln richtet sich nach der Verwendung. Bei Kabelpapieren kommt man mit einem geringeren Zusatz aus als wie bei Papier für Wickel- oder Preßzwecke oder einer Masse für Preßkörper. Oft ist es nützlich, so viel Bindemittel anzuwenden, daß auf der Oberfläche der Nichtleiter eine Phenolharz- oder Asphaltemaille vorhanden ist.

5. Die Herstellung von faserigen Dielektrizis mit kolloidfein gemahlenen Bindemitteln ist vorher unter Anwendung der nassen Aufbereitung auf der Papiermaschine behandelt.

Auf die zahlreichen Methoden, welche auf dem Grundsatz fußen, erst dann die Verschmelzung vorzunehmen, wenn sämtlichen Bestandteilen die Feuchtigkeit entzogen ist, soll nachstehend bei anderen Abarten dieser Fabrikation eingegangen werden.

Wir benötigen in der Elektrotechnik große Mengen von Isoliermaterialien, welche man als Formstücke bezeichnet. Sie werden meistens durch Pressungen hergestellt und erhalten dann gleich die Abmessungen, in denen ihre Verwendung erfolgt.

In solchen Fällen hat man es im allgemeinen nicht nötig, die Faser erst in Papier zu verwandeln und dieses weiterzuverarbeiten, sondern man stellt eine Mischung her, welche sofort in Matrizen gelangt und unter Druck in die gewünschte Form übergeführt wird.

Als Faserstoffe werden hier hauptsächlich Zellulose, Sägemehl, Baumwollabfälle und Asbest benutzt. Die Asbestfaser kann man durch sog. Kardierung in außerordentlich feine Fäden auflösen.

Lufttrockene Faser und Bindemittelstoff, welcher sich ebenfalls in lufttrockenem Zustande zu befinden hat, werden zusammengemischt. Auch ein Füllmittel, welches lufttrocken ist, kann zugefügt werden. Der Feuchtigkeitsgehalt der Ausgangsstoffe ist hier deshalb genannt, weil eine schwere Mischbarkeit vorhanden ist, wenn sich ihr Wassergehalt höher beläuft als im lufttrockenen Zustande. Für das Mischen und die Verarbeitung nach dem vorliegenden Verfahren ist es meistens sogar vorteilhaft, wenn Faser, Füllstoff und Bindemittelstaub schon vor dem Zusammenmischen einzeln wasserfrei gemacht sind.

Da das mechanische Vermengen der Bestandteile so weitgehend wie möglich erfolgen soll, weil der Erfolg der Güte in hohem Maße hiervon abhängt, ist auf den Mischprozeß die größte Sorgfalt zu verwenden. Man kann zur Prüfung und Kontrolle einen Laboratoriumsversuch wie folgt nebenher vornehmen.

In einem Glaskolben von ungefähr 3 l Inhalt schüttet man die zu mischenden Ausgangsstoffe, z. B. 5 vH kardierte Asbestfaser, 20 vH fossilen Asphaltstaub mit einem Schmelzpunkt von 200° C und 75 vH Quarzmehl. Die Teile sollen nur $^1/_{10}$ des Kolbenraumes einnehmen, damit sie beim Schütteln weit auseinander fliegen und sich leicht durch-

fe hat sich nach Ansicht des Verfassers diese Art, welche sich in
chiedener Weise technisch durchführen läßt, am wirksamsten er-
en. Unter dem Vergrößerungsglas kann man den Grad der Ver-
gung feststellen und ist dann in der Lage, gegebenenfalls eine an-
Auswahl der Komponenten zu treffen oder eine Änderung der pro-
ualen Zusammensetzung vorzunehmen.

Die Entziehung der letzten Feuchtigkeitsreste sowohl in den Aus-
gsstoffen wie auch in der angesetzten oder fertigen Mischung nimmt
zweckmäßig bei erniedrigter Temperatur unter Luftleere vor. Je
r die Faser ist, um so voluminöser zeigt sich die Masse. Je mehr
während der Vakuumentfeuchtung hin und her bewegt wird, um so
kommener gelingen die Austrocknung und der Eintritt des Binde-
elstaubes in die Poren.

Diese Behandlung hat noch den Vorteil, daß sämtliche vorhandenen
itigen Stoffe aus den Materialien herausgeholt werden können.
det man z. B. Schmelzkörper an, die Zersetzungsprodukte bilden,
erdampfbar oder gasförmig sind, so gelingt es, die schädlichen Stoffe
zu entfernen. Auf solche Weise entzieht man den Phenolharzen
spaltenes Wasser und flüchtige Verunreinigungen. Da die Masse
r Umständen stark stäubt, bringt man zweckmäßig vor dem Absaug-
ein Roßhaarpolster an, welches die feinen Bestandteile zurückhält.

Ein derartig intensiv wirkendes Verfahren, um aus den Kapil
Wasserreste zu verdampfen und an deren Stelle den Bindemittel-
b hineinzubringen, läßt sich nach der Imprägniermethode nicht
hführen. Je wolliger die Mischmasse ist, um so besser gelingt die
ikung mit pulverigen Stoffen.

Ist die völlige Entfernung des anhaftenden Wassers aus den Misch-
en erfolgt, so kann die Verschmelzung von Faser und Füllmaterial
sich gehen. Mitunter erlauben die Bindemittel es schon, besonders
n sie gut wärmefest, aber dabei dünnflüssig im Schmelzzustande
, daß im Anschluß an die Vakuumtrocknung gleich eine Art Vor-
nelzung stattfindet. Meistens ist hierbei die weitere Bewegung der
nischenden Bestandteile von Vorteil. Die Luftleere saugt den flüssig
ordenen Bindemittelstaub in die Poren und Kanälchen hinein und
t die letzten Spuren der Feuchtigkeit ab. Die Fasern und Faser-
erialien, welche von Staub umgeben sind, nehmen eine Art Lackie-
; auf der Oberfläche an. Erkalten läßt man in Luft, welche über
calk zu leiten ist, um sie wasserfrei zu machen.

Es ist ohne weiteres ersichtlich, daß bei der Durchführung der-
ger Fabrikationsmethoden ein erhebliches Maß von Erfahrung und
hicklichkeit vorhanden sein muß. So soll z. B. die Masse, wenn sie
verschmolzen ist, nicht fest zusammenbacken, damit die Faser
h eine sonst notwendig werdende Zerkleinerung keinen Schaden
t. Man kann auch diese Vorgänge im Laboratorium studieren,
m man den Glaskolben beim Schütteln erwärmt, den Inhalt dabei
r Luftleere setzt und absaugt. Es läßt sich dann noch mancherlei

die Bindemittel sind durch eine Voruntersuchung genau in ihren Eigenschaften festzulegen.

Die erkaltete, ausgetrocknete, mit Bindemittelstaub innig vermengte und gegebenenfalls vorverschmolzene Masse wird, um sie nicht mit Luftfeuchtigkeit in Berührung kommen zu lassen, so schnell wie möglich in heiße Matrizen gefüllt und mit einem heißen Stempel einem ganz schwachen Druck ausgesetzt, so daß sie ihre Wolligkeit verliert, d. h. die viele eingeschlossene Luft entweichen läßt. Hauptsache ist jetzt, dafür zu sorgen, daß keine Luft mit eingepreßt wird. Durch die Erwärmung hat die Luft an und für sich das Bestreben, hochzusteigen. Wird der Staub des Bindemittels wieder flüssig, dehnt er sich aus und nimmt den Platz der Luftbläschen ein. Durch eine fraktionierte Druckanwendung wird die Luft überall aus dem Innern ausgetrieben.

Ist die Temperatur hinreichend hoch, daß der Bindemittelstaub erweicht, übt man starken Druck durch den Preßstempel auf die Masse aus. Die Erhitzung wird dann, während der Druck in voller Höhe stehen bleibt, so weit gesteigert, daß Leichtflüssigkeit eintritt.

Die Erkaltung des fertigen Nichtleiters erfolgt am besten unter Preßdruck.

Im Laboratorium kann das dritte Fabrikationsstadium, die Pressung mit gleichzeitiger Verschmelzung und Entlüftung, gut in ihren Einzelheiten verfolgt werden. Man gibt auf die Masse, welche im Glaskolben erstens durch den Mischvorgang und zweitens durch die Wasserentziehung aufbereitet ist, bei Entlüftung und Schmelzung des Bindemittelstaubes hydraulischen Druck und studiert die näheren Verhältnisse. Die Preßform soll aber mindestens 10 cm Durchmesser haben, damit die Reibung nicht zu groß wird und die als richtig herausgefundenen Preßdrucke auf die Verhältnisse in der Praxis zu übertragen sind.

6. Die Fabrikation elektrischer Nichtleiter bei Benutzung staubförmiger isolierender Schmelzmittel unter dem Gesichtspunkt, daß die innige Mischung von Faser und Staub nicht eher verschmolzen wird, ehe nicht da den Bestandteilen außen und innen anhaftende Wasser herausgezogen ist, hat folgende Vorteile.

Das Lösungsmittel ist vollkommen ausgeschaltet.

Die Feuchtigkeit läßt sich durch Absaugen der voluminösen Masse aus den tiefsten Stellen entfernen. Infolgedessen können dünne wie auch dicke Stücke ganz gleichförmig ohne Schichtungen hergestellt werden.

Da sich die Verschmelzung von Zellstoffaser mit Bindemitteln hoher Wärmefestigkeit vornehmen läßt, erhöhen sich in entsprechender Weise die thermischen Eigenschaften eines Zellstoffdielektrikums.

Das Mischen der Bestandteile, das Absaugen der Feuchtigkeit und das Zusammenpressen der Masse bringt keine schädliche Beanspruchung der Faser mit sich. Die mechanischen Eigenschaften werden daher nicht herabgedrückt.

Das Niederschlagen von wasserabweisenden isolierenden Überzügen auf der Faser und in den feinen Kanälen kann in Spezialfällen noch außerdem durch sekundäre chemische Reaktionen erfolgen. Di-

Durch eine sorgfältige Entlüftung bei dem Verpressen kann die
t aus den inneren Teilen entweichen. Lufteinschlüsse sind bei Be-
ung des Materials durch das elektrische Feld genau so gefährlich
der Feuchtigkeitsgehalt. Die Entfernung von Luft sollte daher
ır Beachtung finden wie bisher. Die kritische Spannung, auch als
isierungspunkt bezeichnet, von wo aus der bis dahin konstante Ver-
winkel anzuwachsen beginnt, scheint um so unheilvoller zu werden,
nehr eingeschlossene Luft vorhanden ist. Aktiver Sauerstoff übt
große Zerstörungskraft aus, sowohl auf organische als auch auf an-
ınische (keramische) Materialien, die sich mit Temperaturzunahme
blich steigert. Wie die Reaktionen von Ozon- und Salpetersäure
ch ein starkes elektrisches Feld gefördert werden, ist uns bisher
einzelnen unbekannt. Auf Grund der Beobachtungen sind aller
hrscheinlichkeit nach die Zersetzungen des Nichtleiterstoffes dann
größten, wenn Luft, Feuchtigkeit und hohe Felddichte zusammen-
ımen.

Wird Bakelit als Bindemittel verwendet, so läßt sich der Fabri-
ionsprozeß, den Eigenschaften dieser künstlichen Harze entsprechend,
inrichten, daß während des Absaugens schon die Umsetzung in die
m C in geringem Maße beginnt, um die hauptsächlichsten Spalt-
dukte herauszuziehen. Es ist in diesem Falle ein Vorteil der hoch-
ekularen Verbindungen, daß ihre Reaktionen Zeit erfordern. Die
ymerisation wird dann während des Pressens und nachher zu Ende
ihrt.

7. Aus allem, was im letzten Abschnitt über die Fabrikation elek-
cher Isolierstoffe mit Hilfe gepulverter Schmelzkörper ausgeführt
de, geht deutlich hervor, daß diese Methode sich nach ihrer tech-
hen Seite hin noch erheblich vervollkommnen läßt. Es scheint sich
hier ein Weg zu eröffnen, wie man zu dem bald im großen Maß-
e benötigten Höchstspannungsisolatoren gelangen kann.

Insbesondere gibt es noch Möglichkeiten, den Einfluß der den
sten elektrischen Isolierstoffen innewohnenden Luft zu brechen.
ner mehr verdichtet sich die Ansicht, daß außer Feuchtigkeit selbst
h die geringsten Lufteinschlüsse dazu beitragen, im elektrischen
d den chemischen Prozeß des Stromdurchgangs, also die Wanderungen
Elektronen und Ionen, einzuleiten und zu verstärken.

Aus diesem Grunde ist es für die Herstellung von Hochspannungs-
ektricis zweckmäßig, die Reaktionen statt in Luft in Stickstoff,
ılensäure und dergleichen indifferenten Gasen, auch in den sog.
lgasen (s. S. 7) sich vollziehen zu lassen. Leitet man nach der Eva-
erung der losen voluminösen entfeuchteten Mischung solche wenig
ktionsfähigen Gase ein, so daß sie die Luftspuren verdrängen helfen,
schmilzt dann und kühlt in dieser Gasschicht ab, so ist ein weiterer
ritt getan, die Wirkung der Luftverdünnung wie des Sauerstoffs
der dadurch bedingten sekundären Prozesse aufzuheben.

Bei Kabelpapier kann man z. B. so vorgehen. Das mit Asphalt-

gelassen. Die mit derartigen Papierschichten umwickelten Kabel setzt man dann im Trockenkessel bei einigen Millimetern Quecksilbersäule zunächst einer Erwärmung unter dem Schmelzpunkt des Bindemittels aus. Dann läßt man indifferentes Gas in den Kessel ein und verschmilzt die Metallteile und die Faserisolation fest miteinander. Die Abkühlung findet wieder in indifferenten Gasen statt, also in solchen, welche unter dem Druck des elektrischen Feldes weder untereinander noch mit den Bestandteilen des Dielektrikums reagieren.

In welcher Weise und mit Hilfe welcher maschinellen Vorrichtungen das Aufbringen der Papierisolation auf die Leiter von Starkstromkabeln zweckmäßig vorgenommen wird, hat Hans Müller[1]) zum Gegenstand einer eingehenden werkstattechnischen Untersuchung gemacht.

XV. Bindemittel und ihre Eigenschaften.

Die kapillaren Eigenschaften der Faser sind schon eingehend behandelt. Abgesehen von mineralischem Material, wie Asbest, zeigen animalische und vor allem vegetabile Fasern eine starke Neigung, sich in ihrem reinen, also nicht mit Bindemitteln verarbeiteten Zustand bei allen Temperaturen, nur natürlich dann in verschieden hohem Maße, zu oxydieren. Isoliertechnisch ist deshalb ein Verfahren nicht zu umgehen, welches die Faser schützt. Die Faser als solche, als Faden, als Garn, als Gespinst, als Gewebe ist derjenige Bestandteil des Nichtleiters, welcher die entstehende Masse zusammenhält.

1. Bei den Drahtumspinnungen aus Papier oder Baumwolle, welche, wie es im Transformatorenbau der Fall ist, in Öl gelagert sind, hat die Umspinnung den Zweck, sich mit Öl zu tränken und die gegebene Entfernung der metallischen Leiter voneinander aufrechtzuerhalten. Öl ist das isolierende Mittel.

Aus den früheren Darlegungen wissen wir ja, daß die Umspinnung sich in ständiger Bewegung befinden muß, und zwar durch die Quellungen im Faserstoff, deren Größenwert durch die jeweilige Temperatur, das elektrische Feld, durch die Einflüsse der in die Kapillaren einwandernden Fremdkörper und durch die Ölbewegung bestimmt wird. Öl enthält stets Luft und Feuchtigkeit sowie zersetzliche Bestandteile und Suspensionen verschiedener Art beigemischt, wenn auch in frischem Zustande nur in geringen Mengen. Immerhin tragen diese Stoffteilchen dazu bei, das Umspinnungsmaterial anzugreifen. Das elektrische Feld bestimmt die Kraft und die Richtung, wie sich die Einwanderung der Ölverunreinigungen in die Drahtumgebung vollzieht. Die Anlagerungen und Durchsetzungen werden mit der Zeit immer bedeutender, der Spinnverband wird gelockert, stellenweise bringt das Potentialgefälle chemische Zersetzungen hervor, an geschwächten Punkten treten dunkle Entladungen auf, schließlich kommt es zum Stromübergang. In solchen Fällen verbürgt eine Drahtisolierung, welche dielektrisch fest am Material anliegt, bei den auftretenden Temperaturen in Öl unlöslich und

zersetzbar ist, also ein für den vorliegenden Zweck besonders aus-
ıuchtes Bindemittel besitzt, die höchste Betriebssicherheit, weil
öste Luft- und Wasserteilchen, Suspensionen, Zersetzungsprodukte
ırch oxydierende Säuren) keine Möglichkeit finden, ins Innere der
lierung hineinzugelangen und so die Vernichtung derselben einzu-
ten.

2. Die mechanische Festigkeit von Papier und Baumwolle, wenn
se Stoffe sich nicht im elektrischen Felde befinden, geht bei Tem-
:aturen von 100° bis 120° C in Öl und flüssigem Paraffin erheblich
hr zurück, als wenn sie sich in Luft befinden. Die Faser wird zwar
Luft stärker oxydiert wie in säurefreiem Öl, aber Öle und Paraffin
ngen stark trennend in die Kanälchen der Faser ein und bewirken
ıe Schädigung der Struktur. Bekannt ist z. B. der Vorgang, daß
e und Paraffin in die Poren von abgebundenem Zement hineingelangen
d dort Sprengungen dieses festen mineralischen Gefüges verursachen.

Die richtige Bindemittelauswahl für die elektrischen Nichtleiter
deshalb eine äußerst schwierige Frage, weil diese Stoffe nur im geringem
ıße untersucht sind und sich ihre Bestandteile auch schwer bestimmen
sen. Sie sind wenig einheitlich zusammengesetzt. Besonders kom-
zierte Verhältnisse treten auf, wenn diese isolierenden Massen im ge-
ten Zustande verwendet werden. Sie verlieren dann die Eigenschaften
es festen Zustandes in mehr oder weniger hohem Maße, und es ist irrig,
zunehmen, daß sie nach Vertreibung des Lösungsmittels wieder ihre
here Konstitution zurückerhalten. Außerdem ist zu berücksichtigen,
s schon mehrfach ausgesprochen ist, daß die letzten Spuren der
sung außerordentlich schwer wieder aus dem niedergeschlagenen Lack
:auszubringen sind, ganz besonders, wenn diese sich tief im Innern
s isolierenden Stoffes befinden. Ferner, daß durch Zersetzung ent-
ındene Teile des Bindemittels flüchtig werden und gefährliche Bläs-
en absondern. Unter Hochspannung sind Stellen, die noch Lösungs-
ttel enthalten, sehr kritisch. Es ist zweckmäßig, sich hier wieder
e millionenfache Vergrößerung des Dielektrikums vorzustellen, um
ort die Schädlichkeit der „Nester" als eine Veranlassung des von
r aus sich vollziehenden Stromdurchbruchs zu erkennen. Also mit
lfe von Imprägnierungsflüssigkeiten und zersetzlichen Bindemitteln
sen sich nur dünne Papiere und Gewebe für bestimmte Spannungen
ıreichend elektrisch fest herstellen.

3. Stellt man aus solchen dünnen, mit Kohlenwasserstofflösungen
prägnierten Papierlagen durch heiße Pressung Isolierstoffe her, so
cht sich bei verschiedener Stärke dieser geschichteten Nichtleiter ein
ıeblicher Unterschied in ihren Verschiebbarkeiten (Dielektrizitäts-
nstanten) bemerkbar. Je mehr ihre Dicke zunimmt, um so schlechter
rden die Stoffe, was durch die Schichten und die Luftpolster, welche
n annehmen kann, erklärlich ist. So wurde von U. Retzow bei 1 mm
ırke eine Dielektrizitätskonstante von 2,5 festgestellt, bei 3 mm Stärke
e solche von 4,5. Dabei ist zu beachten, daß eine Steigerung des Her-
llungsdrucks keine Änderung in diesen Werten hervorbringt. Auch

lackierten geschichteten Papieren hergestellten Isolierplatten zeigen auf unbearbeitet gelassener Oberfläche keine Unterschiede in ihren Brinellgraden (Belastung im Verhältnis zur Eindruckoberfläche).

4. Übt man auf Nichtleiter, vor allem auf solche, welche aus faserigem Material zusammengesetzt sind, starke mechanische Zugfestigkeiten aus, so verringert sich hierdurch ihre elektrische Festigkeit. Man hat diese Erscheinung auch an keramischen Isolierkörpern festgestellt. Die mechanische Beanspruchung kann sich also auch elektrisch auswirken. Dies ist daher bei der Herstellung und der Verwendung von Nichtleitern zu berücksichtigen.

5. Dielektrische Verluste treten in festen Körpern auf, wenn diese eine inhomogene Zusammensetzung besitzen, also in allen technisch verwendeten Isolierstoffen. Wie bereits mitgeteilt wurde, zeigen flüssige Nichtleiter diese Erscheinungen nicht. Gehen daher z. B. Bindemittel durch Schmelzung oder Auflösung aus dem festen in den flüssigen Aggregatzustand über, so schwinden die dielektrischen Verluste und es ist lediglich Stromleitung vorhanden. Erstarren die Schmelzen, sind die dielektrischen Verluste wieder da, aber meistens nicht in der Größenordnung wie zuvor, weil sich die Zusammensetzung der Masse geändert hat. Beim Festwerden bilden sich in den Bindemitteln Stellen verschiedener Dichte, teilweise treten kristalline Gebilde auf. Bestandteile niedrigen Schmelzpunkts verharren längere Zeit noch flüssig, wenn solche mit höherem Erweichungspunkt schon erstarrt sind. Außerdem enthalten Schmelzen sehr oft Gase und Wasserdampf, welche dann im festgewordenen Körper Höhlungen bilden. Diese Höhlungen, auch Lunker genannt, stehen in vielen Fällen infolge der Abkühlung und Kondensation unter niedrigem Druck und stellen auf diese Weise leitende Einschlüsse dar.

Bindemittel sind nur in gelöster Form auf elektrische Isolierstoffe hin zu verarbeiten, wenn dies sich gar nicht anders ermöglichen läßt. Sonst soll man nur solche Schmelzen für die Fabrikation von Hochspannungsleitern und auch für Ausgußmassen anwenden, welche fest wie flüssig von ganz gleichmäßiger Zusammensetzung sind. Man hat also den chemischen Bau der in Frage kommenden Isolierstoffe zu untersuchen. Selbst durch sorgfältigste fraktionierte Destillation, Auskristallisieren und Abdrücken bei bestimmten Temperaturen und sonstige Abscheidungen und Ausschmelzungen ist es bis heute sehr schwierig, ein gänzlich einheitliches Bindemittel zu erhalten, weil die Trennungen meistens nicht quantitativ verlaufen und sich oftmals schwere Öle in den Destillaten finden, welche darin fein verteilt sind und in geringen Mengen schon genügen, den Erweichungspunkt des Bindemittels herabzusetzen. Oft werden höher schmelzenden Bindemitteln, z. B. Harzen, und hochmolekularen Kohlenwasserstoffen Öle zugesetzt, um sie dünnflüssig zu machen. Öle vermehren aber meistens den Schwund der isolierenden Masse und drücken die elektrische Festigkeit herunter. Wenn es erst gelungen ist, elektrisch feste künstliche Asphalte mit einem Erweichungspunkt von nicht unter 150° C

Zustand frei sind von blasigen Einschlüssen, kristallinen Bildungen
weniger festen Stellen, bedeutet dies isoliertechnisch einen großen
hritt.
indemittel von höchster Vollkommenheit nach allen wünschens-
n Richtungen hin gibt es also bisher nicht, sondern man hat von
u Fall für jede Verwendungsart eine Entscheidung zu treffen.
. man bei guten Bindemitteln vorher eine Untersuchung auf ihre
trischen Eigenschaften hin vornimmt, so findet man oft, daß diese
hlechteres Ergebnis hat, wie es die damit hergestellten technischen
kkörper zeigen. Dies erscheint durchaus nicht verwunderlich,
rn sogar erklärlich, weil ein aus einem Schmelzfluß entstandener
leiter viel mehr Möglichkeiten besitzt, daß das elektrische Feld in
n Innern die Moleküle zu Bewegungen von Elektronen und La-
n zwingt als in einem mit hohem Druck durch Hitze hergestellten
örper, in welchem das Bindemittel stark verdünnt vorkommt.
bei der Fabrikation die Fasern und Füllmittel durch das Auf-
ungsverfahren neutral gemacht, kann eine weniger günstige Eigen-
des Bindemittels, z. B. bei höheren Temperaturen an Leitfähig-
der elektrischer Festigkeit einzubüßen, durch dielektrisch rich-
Verschmelzung mit einer viermal so großen Masse, welche von ihr
isch ganz verschieden ist, in erheblicher Weise an ihren eigenen
teilen verlieren.
. Während Zellstoff und Baumwolle in Luft höchstens einer dau-
n Temperatur von 110° C bzw. 100° C und unter Öl 105° C aus-
t werden dürfen, um nicht mit der Zeit zerstört zu werden, kann
diese Stoffe dadurch wesentlich wärmefester machen, wenn man
t Bindemitteln verarbeitet, die einen hohen Schmelzpunkt besitzen.
solierstoffen von erhöhter thermischer Beschaffenheit lassen sich
inen und Anlagen herstellen, welche von gesteigerter Leistungs-
keit sind. Deshalb geht auch das Bemühen der Isoliertechniker
, die nichtleitenden Baustoffe nach dieser, der thermischen Rich-
hin, zu verbessern.
Sowohl in thermischer wie in elektrischer Beziehung weisen manche
en Asphalte Vorteile auf. Sie haben z. T. Schmelzpunkte, die weit
200° hinausgehen und bestehen aus verhältnismäßig wenig Bestand-
, welche frühzeitig flüssig oder flüchtig werden. Da sie oftmals
durch anorganische Stoffe verunreinigt sind, so bedürfen sie vor
Verwendung der Ausschmelzung.
. Belastet man Nichtleiter, z. B. Kabel, längere Zeit hindurch
Spannungen, welche in der Nähe ihres Durchschlagswertes liegen,
llt sich heraus, daß die elektrische Festigkeit des Isoliermaterials
herabgeht, bis auf 20 vH und mehr. Werden solche Kabel jetzt
re Zeit stromlos liegen gelassen, und dann wieder einer Prüfung
zogen, so stellt man jetzt fest, daß die alte Durchschlagsfestigkeit
r vorhanden ist. Man hat sich dieses Verhalten so erklärt, daß
solierstoff gewissermaßen durch die Überbeanspruchung stark er-

Eine andere Erklärung solcher Zustände, die nicht nur im Kabel, sondern allgemein an den bis nahe ihrer elektrischen Festigkeitsgrenze längere Zeit hindurch belasteten Isolierstoffen auftreten, bringt diesen Vorgang mit dem Ionisationspunkt zusammen, also dem Zeitpunkt, wo der Verlustwinkel inkonstant wird und mit der elektrischen Feldstärke ansteigt.

Genau erforscht sind diese Verhältnisse nicht. Dielektrische Verluste, Ionisationspunkt, Bewegungen des Bindemittels in den Faserkapillaren, Durchschlagsfestigkeit und chemische Reaktionen im Dielektrikummaterial unter der Wirkung des elektrischen Feldes werden vermutlich in Zusammenhängen miteinander stehen. Daß Luft einen besonders hohen Anteil bei den sog. Ionisationsvorgängen hat, dürfte infolge seiner niedrigen Dielektrizitätskonstanten der Fall sein. Aber man kann sich auch vorstellen, und es ist sicher, daß außer der Luft noch sonstige Stoffbestandteile dielektrisch schwach werden, d. h. in den Ionenzustand übergehen und durch Reaktionen mit sonstigen Nichtleiterteilchen unter Wärmeentwicklung, ähnlich wie beim Ionisieren von Sauerstoff, Stromleitung herbeiführen und die Isolation vernichten.

Über die Höhe des Ionisierungspunktes, welcher zunächst ausschließlich bei der Ionisierung von Luftsauerstoff im Papierdielektrikum gedacht wird, gehen die Ansichten auseinander. Von der einen Seite wird er mit rund 2000 V/mm angegeben, von anderer Seite mit dem Mehrfachen dieses Wertes. Auch dies läßt darauf schließen, daß die Einwirkung des elektrischen Feldes auf die geschichteten Isolierstoffe noch nicht in ihren Einzelheiten bekannt ist. Die Forschungsarbeiten dürfen sich nicht nur auf festzustellende Messungen beschränken, sondern die chemische Zusammensetzung der Isolierstoffe ist zu untersuchen.

8. Auf eine eigenartige Erscheinung soll noch kurz hingewiesen werden. Bei Gasen ist sie bestimmt vorhanden, nach den Untersuchungen des Verfassers mit großer Wahrscheinlichkeit auch bei festen Körpern.

Wird ein Gas, z. B. Stickstoff, unter Druck gebracht, so steigt bekanntlich die elektrische Festigkeit proportional diesem Druck. Wenn man jetzt ein Potentialgefälle, welches der Rechnung nach noch gerade zulässig ist, sofort nach der Komprimierung anlegt, pflegt Durchschlag zu erfolgen. Legt man dieselbe Spannung aber erst nach längerer Zeit an, so wird sie gehalten. Man kann schließen, daß die wenigen freien Elektronen und Ionen, welche möglicherweise von Stoffen an den Gefäßwänden stammen, sich im zweiten Falle im Druckgas besser verteilt haben.

Bei festen Körpern lassen sich ähnliche Erscheinungen beobachten, z. B. besitzen die Preßlinge gleich nach der Herausnahme der erkalteten Matrize und auch einige Tage nachher noch nicht diejenige Durchschlagsfestigkeit, wie einige Wochen später. Die Bestandteile haben sich in dieser Ruhezeit scheinbar noch vollkommener vereinigt.

Ferner macht es den Eindruck, als ob ein mit Hilfe von Fasern hergestelltes Dielektrikum sich bessert, wenn es längere Zeit

ähr der Hälfte der Spannung entspricht, bei welcher es durchschlagen vürde. Man könnte hier annehmen, daß geringe Wärme entsteht, velche auf das dielektrische Verhalten des Körpers günstige Wirkungen usübt, zugleich mit dem Einfluß des elektrischen Feldes. Dieser eben ngeführte Vorgang einer Art Selbstschutz im Betrieb ist im Hinblick uf die daraus herzuleitenden Schlüsse interessant genug, um derartige Vorgänge einer genauen Untersuchung zu unterziehen.

9. Von Bindemitteln und Ausgangsmaterialien für technische Nichtleiter ist bisher über Guttapercha und Balata, welche für die Isoierung von Tiefseekabeln sehr wertvoll sind, sowie über Gummi nichts erwähnt. Diese Stoffe besitzen besondere Bedeutung in der Industrie solierter Leitungen. Die deutschen Normen sind unter Mitarbeit des Staatlichen Materialprüfungsamtes in Dahlem vom VDE festgelegt und aus dem Vorschriftenbuch des VDE, 13. Aufl., Julius Springer 1926, zu ersehen, sie behandeln auch die Zusammensetzung der solierenden Hüllen. Mitte 1925 sind vom amerikanischen Bureau of Standards unter Nr. 232 eingehende Vorschriften erschienen, wie man die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Gummis durch mechanische Prüfungen und Analysen feststellt.

Die geringe Temperaturbeständigkeit von Gummifabrikaten und ihre Oxydierbarkeit durch Lichtstrahlen haben den früher sehr umfassenden Verbrauch dieser aus pflanzlichen Säften gewonnenen Stoffe auf dem Gebiete der elektrischen Isolation erheblich beeinträchtigt. Hartgummikörper, aus Gummi unter Zusatz von Schwefel hergestellt, sind in elektrischer Beziehung ausgezeichnet und finden in der Meßinstrumententechnik noch viel Verwendung. Bei den großen unterirdischen Kabeln hat die Gummiisolierung, ebenso wie die Umspinnung mit Seide und Baumwolle in großem Umfang der vorzüglichen Papierumhüllung Platz gemacht. Guttapercha und Balata sind aber bei den Unterseetelegraphenkabeln bisher nicht durch andere Stoffe zu ersetzen.

10. Ein neues gummiartiges Bindemittel, welches aber auch ohne Zusätze verwendet werden kann, beschreibt H. W. L. Brückman in der ETZ 1925, S. 1732. Es führt den Namen Karetnja und stammt von E. S. Ali Cohen. Hergestellt wird es von der Gesellschaft für homogene Kabel im Haag. Der Hauptsache nach besteht es aus einem Asphalt, welcher mit stearinsaurem Aluminium behandelt wird. Die Masse ist elastisch und kann um Kupferadern herumgepreßt werden wie Gummi. Außer in plastischer Form läßt es sich auch in der Härte von Hartgummi herstellen. Bei 80° C tritt noch keine Formänderung auf. Feuchtigkeit gegenüber soll es sehr beständig sein. Ebenso unterliegt es nicht der Oxydation durch Luft und Lichtstrahlen. Papiere können mit Karetnja getränkt werden, die Dielektrizitätskonstante ist annähernd dieselbe wie bei geöltem Kabelpapier. Platten aus Karetnja in Stärke von 1 mm zeigen einen spezifischen Widerstand von $10^{13}\ \Omega\ \text{cm}^2/\text{mm}$ und eine Durchschlagsfestigkeit von 200 kV/cm. Der Verlustwinkel hat sich als höher herausgestellt wie bei ölgetränktem Kabelpapier. Es wird in Erwägung gezogen, die Kabel überhaupt

Bekannt ist, daß stearinsaure Aluminium- und Magnesiumverbindungen, ebenso die mit den höheren Homologen wie Palmitinsäure erhaltenen Metallverbindungen sich als hochwärmebeständige isolierende Bindemittel ausweisen. Um das Schwindmaß herabzudrücken und eine bessere Durchdringung der Faser herbeizuführen, hat man wahrscheinlich das stearinsaure Aluminium in einem geeigneten Asphalt gelöst und ist so zu einem guten neuartigen Isolierstoff gelangt. Durch Paraffinzusatz in der Hitze lassen sich Stearate und Palmitate ebenfalls in ihren Eigenschaften modifizieren.

11. Als Bindemittel kann man auch die mit Kampferersatzstoffen behandelte azetonlösliche Azetylzellulose ansehen. In Schering, Die Isolierstoffe der Elektrotechnik[1]), hat der Erfinder dieser Massen, Dr. A. Eichengrün, im VII. Abschnitt über Zellonlacke als elektrotechnische Isoliermaterialien berichtet. Die azetonlösliche Azetylzellulose, auch Cellit genannt, ist eine weiße Substanz faseriger Struktur, welche bei 200°—215° C unter hohen Drucken ein fester Körper wird, welcher aber in dieser Form wenig verwendungsfähig ist. Um diese Masse elastisch zu machen, setzt man Gelatinierungs- oder Kampferersatzmittel zu und gelangt zum „Cellon". Mit Hilfe des Cellons als Bindemittel stellt man unter Zusatz von mineralischen Füllmitteln das „Lonarit" her, welches in der Schwachstrom-, Apparate- und Radiotechnik verwendet wird.

Kampferersatzmittel sind z. B. aromatische Sulfamide und Sulfanilide sowie Ester aromatischer Säuren und Substitutionsprodukte des Harnstoffes.

Wenn die Mischung von Cellit, der verschiedenen Kampferersatzmittel, der gepulverten mineralischen Füllstoffe und der Lösungsmittel wie Azeton, Essigester, heiße Spiritus-Benzollösung geknetet, durchgelatiniert und zum schwarzen oder anders gefärbten Pulver getrocknet, d. h. von den Lösungsmitteln befreit ist, wird die Masse gemahlen und ist preßreif. Je nach dem Verhältnis vom Bindemittel zu den anorganischen Bestandteilen hat man höhere oder niedrigere Temperaturen und Preßdrucke anzuwenden. Spritzfähige Lonaritmassen, welche wie die Preßkörper polierbar sind, setzen eine aus weniger Füllstoffen bestehende Ausgangsmasse voraus. Gemahlenes Lonarit ist wieder verwendbar. Mit Azeton lassen sich Lonaritkörper zusammenkleben.

12. Auf der Jahresschau Deutscher Arbeit in Dresden im Jahre 1924, welche die Verwendung der Textilien zeigte, hatte das Telegraphentechnische Reichsamt elektrische Isolierstoffe, meistens imprägnierter Art, in umfassender Weise ausgestellt. In der Telegraphen- und Fernsprechtechnik spielen die faserigen Nichtleiter eine große Rolle, und zwar nicht nur technisch, sondern auch hinsichtlich der dafür aufzuwendenden Summen. An Stelle von Baumwolle und Seide ist in vielen Fällen jetzt Papier getreten.

Bei den hier benötigten Wechselströmen hoher Frequenz hat man neben den Leitungsströmen den Verschiebungsströmen eine besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Ein möglichst homogenes Dielektrikum

rwünscht, die ungünstigen Folgen der Kapazität sind zu beseitigen. lgedessen besteht die Notwendigkeit, zu einer geringen Dielektri-skonstanten zu gelangen.

In einer großen Anzahl von Kurventafeln hatte das Telegraphen-nische Reichsamt die Beeinflussung der Isolierstoffe bei der Frequenz Fernsprechströme gekennzeichnet. Die Theorie der dielektrischen hwirkung, ausgehend vom Doppelkondensator, war graphisch dar-ellt, und reiches Kurvenmaterial zeigte, wie Kabelpapiere, Tränkungs-sen, fertige Drähte, Kabel und Preßstoffe sich verhalten. Vor-ungen zum Aufbau der Fernkabel, Fernsprechkondensatoren, hte, Schnuren usw. gewährten einen Überblick über das Gebiet mit Bindemitteln imprägnierten elektrisch isolierenden Faserstoffe.

XVI. Bakelite.

Die schon mehrfach erwähnten Phenolharze, zu welchen das Kunst-z Bakelite gehört, kann man zur Zeit als unsere wertvollsten Binde-tel für isoliertechnische Zwecke ansehen. Es gebührt ihnen daher be-lere Beachtung. Die in- und ausländische Literatur, welche sich diesen Stoffen beschäftigt, ist von großem Umfang. Diejenigen, he Einzelheiten interessieren, werden hierauf verwiesen.

1. Für das allgemeine Verständnis sei lediglich wiederholt, daß ı durch chemische Bindung von Phenolen und Aldehyden k en Verwandten zu Stoffen gelangt, welche harzartige Eigenschaften tzen können. Das gewöhnliche Phenol $C_6H_5 \cdot OH$, auch Benzo-nol genannt, ist eine bei 43° C schmelzende farblose kristalline Masse, Formaldehyd $H \cdot COH$ ein stechend riechendes Gas, welches sich in sser löst. Die Einwirkung dieser beiden Körper aufeinander erfolgt o verschiedener Weise, daß die dabei entstehenden Endprodukte len mannigfaltigsten Arten ausfallen. So ergeben sich lösliche und ösliche, amorphe und kristallinische, schmelzbare und nichtschmelz-e, poröse und einheitlich zusammengesetzte, harte und weiche, sige und feste Gebilde. Bei der Vereinigung wirken reines Phenol reines Formaldehyd, meistens in äquivalenten Mengen angemacht, ler Hitze nur schwach aufeinander ein, man wendet daher sog. ıtaktmittel an, auch Katalysatoren oder Kondensationsmittel genannt. sind dies organische und anorganische Zusätze, welche die Reak-ı einleiten, beschleunigen und meistens aus dem Molekularverband der austreten. Von ihnen hängt das Gelingen der Herstellung tech-h brauchbarer Körper in hohem Maße ab. Auch die Temperaturen l die Mengenverhältnisse der Ausgangsstoffe bestimmen mit, was für ffe entstehen.

2. Um die Erforschung dieser Vorgänge hat sich der Amerikaner Leo Baekeland ein besonderes Verdienst erworben und in zäher eit die äußerst schwierigen Verhältnisse entwirren helfen. Er fand ., daß Alkalien als Kontaktsubstanz ein besonders günstiges Er-nis herbeiführen. Die Baekelandschen Verfahren verwertet in

volle Phenolharz kommt unter dem dieser Gesellschaft geschützten Namen Bakelite in den Handel.

Dieses Kunstharz hat folgende Eigenschaften. Es besitzt dreierlei Formen, und zwar ist es in der Modifikation A fest, flüssig und in Alkohol und anderen Lösungsmitteln löslich. Durch Erwärmung führt man es in eine Art Zwischenstufe in den Zustand B über, wo es unlöslich, aber noch plastisch ist. Bei weiterer Erwärmung ergibt sich die letzte Modifikation C, in welcher das Phenolharz hart und fest ist, sich in den üblichen Lösungsmitteln wie vor allem in Ölen, Alkohol usw. nicht mehr löst und eine hohe elektrische Durchschlagsfestigkeit besitzt. Es nimmt bei der Lagerung in Wasser keine Feuchtigkeit auf. und erweicht nicht bei höheren Temperaturen, sondern verkohlt um ungefähr 300° C herum.

Vor einiger Zeit wurde von v. d. Heyden und Typke die Frage aufgeworfen, ob Bakelite mit Spiritusdämpfen flüchtig ist. Wie sich bald herausgestellt hat und auch von den Versuchsanstellern später zugegeben wurde, ist dies nicht der Fall. Die beim Übergang von A in C in ganz geringfügigen Mengen sich abspaltenden Phenolprodukte und Wasser entweichen. Liegt ein Großbetrieb vor, so lassen sich nach Ablauf einer längeren Betriebszeit Phenolharze im Trockenofen nachweisen, welche aber nicht aus Bakelite bestehen. Das Bakelite als [illegible] Lösungsmitteln flüchtig und nicht sublimierbar.

[illegible] eines in seiner Masse gleichmäßig aufgebauten [illegible] ächst auf große Schwierigkeiten, weil sich Gase [illegible] üge schwammig machen. Diese Nachteile zu ver[illegible] [illegible] eland dadurch erreicht, daß er während der Reaktion, und zwar in allen drei Entwicklungsstufen je nach Notwendigkeit, die vereinte Wirkung von Wärme und Druck auf das Kondensationsprodukt oder dessen Mischung mit Füllstoffen zur Anwendung bringt und dadurch zu einem homogenen, je nach Art der verwendeten Rohstoffe weißen bis braunen, durchsichtigen oder durchscheinenden harzartigen Körper gelangt, frei von sichtbaren Hohlräumen. Dieses Verfahren, welches durch das D. R. P. 233803 noch heute geschützt ist, gehört der Bakelite G. m. b. H. Es soll hervorgehoben werden, daß durchaus nicht alle Phenolharze die wichtige Eigenschaft besitzen, durch Erwärmung hart und unlöslich zu werden, wohl aber das Bakelite. Daraus erhellt dessen hoher Wert für die elektrischen Isolierstoffe. Das Arbeiten nach dem eben angeführten Schutzrecht ist nur denjenigen gestattet, welche die Kunstharze von der Bakelite-Gesellschaft beziehen.

3. Reines Phenolharz Bakelite ist in seiner Verwendung als Bindemittel für die Herstellung elektrischer Isolierstoffe mehrfach untersucht. Auf S. 22 ist angeführt, daß eine dünne Bakeliteschicht große elektrische Festigkeit gezeigt hat. Wie wir aus den früheren Darstellungen erkannt haben, sind die Eigenschaften des Bindemittels nicht ohne weiteres auf die daraus hergestellten technischen Nichtleiter übertragbar. Erstens kann die Fabrikation an sich fehlerhaft durchgeführt [illegible]

›n, welche sich in vielen Fällen bei angepaßter Verarbeitung aus-
›hen lassen. Um diesen Verhältnissen Rechnung zu tragen, muß
. das Verhalten des Bindemittels sowie der damit verarbeiteten Be-
.dteile kennen.

Elektrische Festigkeitsuntersuchungen an Bakelite werden nur
a hohe Qualitätswerte abgeben, wenn dieses Kunstharz wirklich in
əm Umfang in die Stufe C übergegangen ist. Weiterhin ist nötig,
Gaseinschlüsse und etwaige sonstige Nebenprodukte ausgeschieden
. Ob es möglich ist, bei dicken Kunstharzstücken diese auch in
ren restlos auszuscheiden, ist fraglich. Es wäre deshalb angebracht,
en wahrscheinlichen Zustand bei der Herstellung von Nichtleitern
wirklich vorhanden anzunehmen und entsprechend zu verfahren.

Zur Beurteilung eines Isoliermaterials soll man es vor allen Dingen
ebrauchsfertigem Zustand prüfen.

Bei einer Untersuchung der dielektrischen Eigenschaften von
:eliteharz durch O. Mannel[1]) wurde die Überführung der Modifi-
.on A in diejenige von B und C ohne Anwendung von Druck, son-
ı ausschließlich durch Wärme allein vorgenommen. Es zeigt sich
bei Steigerung der Temperatur, daß der Verlustwinkel, die Leit-
gkeit und die Dielektrizitätskonstante erheblich ansteigen, die
'chschlagsfestigkeit aber stark zurückgeht, und zwar bei 100° C um
Viertel, bei 200° C um die Hälfte. Die Bakelisierung war so vor-
ɔmmen, daß zunächst ein spirituslösliches Bakelite A aufgetragen
. lufttrocken gemacht wurde. Dann war in einem elektrisch geheizten
a eine Temperatur von 50—80° C angewendet, bei welcher sich die
wandlung in C langsam und ruhig vollziehen soll, indem das Wasser,
überschüssige Phenol und Formaldehyd und der als Lösungsmittel
ıende Alkohol ohne Blasenbildung entweichen. Anscheinend hat
nnel die Härtung der Bakeliteschichten nicht bei ausreichend hoher
aperatur bzw. nicht lange genug vorgenommen, so daß er mit nicht
ig durchgehärteten Schichten gearbeitet hat, wodurch die starke Ver-
ßerung des Verlustwinkels, die Erhöhung der Leitfähigkeit und der
lektrizitätskonstanten zu erklären ist.

Bakelite, das nur luftgetrocknet ist, zeigt eine Dielektrizitäts-
stante von 16,5. Nach $^1/_2$- bis 3stündiger Erwärmung bei 105° C
rägt sie 3,8 als niedrigstem Wert und geht nach sechsstündiger Erwär-
ag, welche ebenfalls bei 105° C stattfindet, bis 5,5 hinauf. Der spez.
lerstand in Ohm/cm^3 ist von $7{,}2 \cdot 10^{11}$ auf $2 \cdot 10^{15}$ bzw. $2 . 10^{15}$ ge-
gen, die Durchschlagsfestigkeit einer Schicht von 0,05 mm von 1450 V
3100 V bzw. auf 3520 V.

Gegen die obigen Feststellungen läßt sich einwenden, daß die für
. besten Qualitätsfall notwendige Anwendung von Wärme für die
ɛelisierung nicht angewendet ist, und die Zeit für die vollkommene
ymerisierung zu kurz bemessen wurde. Ob ein quantitativer Über-
ıg von A in C stattgefunden hat, bleibt daher unsicher. Leider be-
ıen wir bisher keine einfache Methode, um dies durch eine chemische

Prüfung nachweisen zu können. Durch die Destillation dieser Kunstharze kann man wohl feststellen, ob unzulässig viel Ammoniak, Phenol oder dergleichen andere schädliche Stoffe beigemengt sind.

Ferner ist fraglich, ob die Schichten gute Verbindungen miteinander haben und ob weniger feste Stellen und Luft ausgeschlossen sind.

Da sich hier eine Anzahl ungeklärter Fragen einstellen, so fordert der Versuchsansteller deshalb selbst, weitere Messungen an Bakelite vorzunehmen. An anderer Stelle, bei H. Rochow[1]), findet sich neuerdings eine Messung angeführt, daß mit sinusförmigem Wechselstrom von 50 Per/s. und Elektroden von 20 mm Durchmesser und einem eingeschliffenen Krümmungsradius von 50 mm reines Bakelite bei 0,50 mm Schlagweite eine Durchbruchsfeldstärke von 170 kV/cm, bei 1,5 mm Schlagweite eine solche von 60 kV/cm ergeben hat, und bei einer anderen Sorte nur Feldstärken von 15 kV/cm bei 3 mm Schlagweite. Auch hier ist keine Stellungnahme zu den Untersuchungsergebnissen möglich, da die Behandlung des Kunstharzes unbekannt ist.

In einer weiteren Arbeit neueren Datums von H. Gabler[1]) werden Untersuchungen an einem Bakeliteharz mitgeteilt, welches laut Angabe aus mehrmaliger Destillation gewonnen wurde. Letzteres ist nicht recht verständlich. Berichtet wird, daß wasserhaltiges Bakelite so große Streuungen hinsichtlich seiner Durchbruchsfeldstärke aufweist, daß exakte Messungen unmöglich sind. Die Werte konnten nicht reproduziert werden, das Kunstharz ist unter Spannungen dauernden Änderungen unterworfen. Eine Probe, welche 40 Minuten dem elektrischen Feld ausgesetzt war, zeigt zahlreiche Sprünge und Aussprengungen, welche der Wirkung der Wärme zugeschrieben werden. Es wird dann geschlossen, daß ein geringer nicht zu beseitigender Wassergehalt sekundär eine elektrolytische Leitfähigkeit bewirkt, welche sich dem eigentlichen Durchbruchsmechanismus überlagert. Wegen des unübersichtlichen und komplizierten Verhaltens wurden die Feststellungen unterbrochen.

Da auch hier nichts über die Modifikation des untersuchten Bakelites angegeben ist und ebensowenig etwas über die Vorbehandlung, kann man keine Schlüsse aus den gefundenen Zahlen ziehen. Mit hoher Wahrscheinlichkeit ist anzunehmen, daß das Phenolaldehyd nicht durchbakelisiert war, denn die Prüfungsergebnisse sind bei richtig vollzogener Polymerisation erheblich andere. Das Bindemittel Bakelite gehört in dielektrischer Beziehung zu den besten Körpern, welche wir hier haben. Wahrscheinlich wurde nicht reines Bakelite, sondern eine geschichtete Bakelitepapierprobe untersucht, die nicht völlig einwandfrei gehärtet war und vielleicht noch im Kern Reste von Spiritus enthielt.

4. Nachstehend soll beschrieben werden, wie man unter Benutzung von Bakelite verschiedene Sorten Nichtleiter herstellt. Es ist aber für denjenigen, welcher sich noch nicht damit beschäftigt hat, kaum möglich,

---

Übung einfach nach diesen Vorschriften allein ein brauchbares
ıspannungsmaterial zu erhalten. Ein bestimmtes Gefühl für die
hier abspielenden Reaktionen kommt erst mit der Erfahrung.
er ist nicht gesagt, daß man sich unbedingt und ganz peinlich an
ngeführten Zahlenwerte halten soll, sondern es ist nur beabsichtigt,
ıse Richtlinien zu geben. So viel entspricht aber den Tatsachen,
sich mit Bakelite bei richtiger Verarbeitung ein ganz betriebs-
rer Hochspannungsnichtleiter fabrizieren läßt.

Für Formstücke, welche mit Kunstharz hergestellt werden, hat
akelite-Gesellschaft zur Zeit zwei verschiedene Preßmischungen in
Handel gebracht, welche außer Füllstoffen Asbest, Holzmehl, Pa-
u. dgl. als Faser enthalten. Sie werden in Pulverform preßfähig
ert. Die eine Sorte ist als gewöhnliche, die andere als Schnellpreß-
ıung bezeichnet. Letztere braucht zur Härtung nur die halbe Zeit.
Man kann aber auch festes wie flüssiges Bakelite A beziehen und
t die Preßmischungen selbst zusammenstellen. Das feste Kunst-
pulvert man dann und löst es in hochprozentigem denaturierten
tus, ein Gewichtsteil Alkohol auf einen Gewichtsteil vom Kunstharz,
nan es mit der Faser und den mineralischen Füllstoffen zu einer
ı Mischung verrührt. Flüssiges Bakelite setzt man so zu, wie man
zogen hat. Bei 90° C trocknet man die Mischung, bis die Masse
ıoch gerade mit der Hand zusammenballen läßt. Oder man wartet,
ieses durch die Selbsterwärmung in der Knetmaschine erreicht ist.

Auch für Preßmassen, welche pechhaltig sind, verwendet man
lite, um die mechanischen, elektrischen und thermischen Eigen-
ten zu verbessern. Da diese Ansätze meistens eine längere Misch-
von mehreren Stunden bei 120° C und noch höheren Temperaturen
lern, darf in diesem Falle das flüssige oder das spirituslösliche Ba-
ı erst ungefähr $^1/_2$ Stunde vor Ende der Mischerei zugesetzt werden.

Gelöstes Bakelite mischt man auch mit Zellstoffpapieren ohne Zu-
von Füllstoffen, trocknet dann die Papiere, zerreißt sie und bringt
Masse in Matrizen, wo sie unter Druck und Hitze bis 120° C die ge-
chte Form und die unlösliche und elektrisch isolierende Eigen-
t erhalten. Derartige Zellstoffabrikate kann man bis zu Er-
ıungen von 150° C verwenden. Die aus Asbest-Preßmassen her-
llten Bakelitenichtleiter, welche für die Überführung des Bakelites
e Form C zweckmäßig Temperaturen von ungefähr 170° C aus-
zt werden, sind höher hitzebeständig, und zwar bis ungefähr 300°
ıf.

Die Fabrikation der isolierenden Körper kann auf kaltem Wege
gen, indem man die Preßmassen in Stahlmatrizen zusammendrückt.
bringt sie nach Herausnahme aus der Form in sog. Bakelisatoren.
ind dies Druckgefäße, in welchen unter einem Gasdruck von un-
r 8 Atm. und allmählich ansteigenden Temperaturen bei 60° bis
C die Härtung, d. h. die Überführung von Bakelite A in die C-
ı vor sich geht. Bei Anwendung längerer Zeiten kann man diesen
ang, welchen man auch Ausbacken nennt, auch im Trockenschrank

Derartige nach dem Kaltpreßverfahren angefertigte Formstücke zeigen den Nachteil, daß sie die ihnen in der Matrize verliehene Gestalt nicht genügend beibehalten und außerdem matt sind. Eine Hochglanzlackierung der gehärteten Stücke läßt sich jedoch durch Spritzen, Streichen oder Tauchen mit Bakelite-Lacken erzielen, man muß aber diesen Überzug dann noch ausbacken.

Nichtleiter besserer Eigenschaften werden in einer heißen Preßform hergestellt. Man erwärmt die Matrize auf 160—180° C und übt, indem man gleichzeitig Rücksicht auf eine Entlüftung nimmt, einen Enddruck von ungefähr 150 kg/cm² Formenstempelfläche aus. Den vollen Druck läßt man dann während der Erwärmung auf die Preßmasse wirken, die Zeiten richten sich nach der Größe des Preßlings und nach dem Gehalt an Bakelite. Komplizierte Formstücke, welche ein Fließen der Preßmasse erforderlich machen, brauchen einen größeren Bakelite-Zusatz. Früher benutzte man Stauferfett, Stearinöl u. a. zum Einfetten der Stahlform. Aber hierdurch wird die Hochglanzpolitur der Matrize mit der Zeit angegriffen und dadurch der fertige Preßling unansehnlich gemacht. Deshalb säubert man neuerdings die Matrizenteile mit komprimierter Luft.

Nach der Beheizung, welche mit Gaskränzen, elektrisch oder durch Kanäle mit 8—10 Atm. Dampfdruck erfolgen kann, wird zuweilen, besonders bei ganzen Stücken, die Matrize unter Druck etwas abgekühlt.

Die Vorschriften, mit Bakelite elektrische Nichtleiter zu fabrizieren, sollen in allen ihren Einzelheiten nicht zu weit ausgedehnt werden, weil es dabei jeweilig auf den Verwendungszweck, die Größe und die Form des Stückes ankommt. Aber es sei noch erwähnt, daß man die trockenen kalten Pulver unter sehr hohem Druck, z. B. mit 1000 kg/cm², zusammendrückt. Sie sind sehr empfindlich, lassen sich aber in Formen einführen, wo die Masse unter Hitze verpreßt wird. Es ist so eine Serienherstellung und eine Verbilligung möglich.

In einer ganzen Anzahl von Fällen hat man auch nicht nötig, mit hydraulischen Pressen zu arbeiten, sondern begnügt sich mit Kniehebelpressen, sogar mit Spindelpressen. Es ist hierbei natürlich zu bedenken, daß die Masse in alle Teile der Form unter Druck hineingepreßt werden muß, um keine porösen oder sonst mechanisch und elektrisch minderwertigen Stücke zu bekommen. Auch ist in Betracht zu ziehen, daß die Brennbarkeit von Zellstoff- und Holzmehlmischungen durch das Arbeiten mit hohem Druck herabgemindert wird. Ungefähr $2^1/_2$mal so groß ist das Volumen der Preßmischung als das der fertigen gepreßten Körper. An Bakelite-Preßlingen, welche in einer heißen Form erzeugt werden, wird beim Kühlprozeß der Hochglanz erhöht.

Im allgemeinen haben die Formstücke ein bräunlich-gelbes Aussehen, man kann sie aber auch schwarz und rot färben.

Bakelite-Nichtleiter lassen sich auch durch Zusammenpressen von mit Bakelite getränkten Papierlagen, am besten aus holzstofffreien gut saugfähigem Papier und nachträgliches Ausbacken durch Pressen in Plattenform von Bruchteilen in Millimeterdicke bis zu 8 cm Dicke

renform, der ein längerer Aufenthalt im Bakelisator folgt. Es ent-
en hier zunächst bei dem letzteren Verfahren dünn- und dick-
dige Zylinder. Häufig wird das ausgebackene Isolierstück noch in
bei 120—140° C gekocht. Näheres über die Art und Handhabung
Maschinen ist aus Schering, Isolierstoffe der Elektrotechnik, zu er-
n. Für die Herstellung von Durchführungen aus gewickeltem Hart-
ier besteht der große Vorteil, daß die lackierten Papierlagen luft-
t um den Leiter herumgewickelt werden.

Außer Papier preßt und wickelt man Baumwolle und andere Ge-
e unter Benutzung von Bakelite zusammen und gelangt dabei zu
pern, welche eine sehr große Zähigkeit besitzen und als Zahn-
r Verwendung finden.

Um die gefährlichen Schichtungen zu vermeiden, ist man neuer-
s so vorgegangen, daß man nichtausgebackene gepreßte und ge-
kelte Bakeliteerzeugnisse, wie sie vorher beschrieben wurden, zu
ern zerkleinert, dann in üblicher Weise in Matrizen heiß preßt und
uf die Bakelisierung folgen läßt. Man erreicht auf diese Weise,
der Preßling homogen wird. Es ist dieses Verfahren aber auch,
sich herausgestellt hat, mit ausgebackenen Bakelitenichtleitern an-
enden. Werden solche zerkleinert, erneut heiß gepreßt und ge-
ken, so ergeben sich feste isolierende Stücke[1]). Man hat es in der
d, Massen von zerkleinerten, nicht ausgebackenen Bakelite-Preß-
en hinzuzufügen, desgleichen Kunstharze in reiner Form. Daß das
inbar völlig ausgebackene hochmolekulare Bakelite nach einem me-
ischen Zerkleinerungsprozeß bei wiederholter Behandlung unter
ck und Hitze von neuem abbindet, ist nicht verwunderlich. Wir
en einen analogen Fall in der anorganischen Chemie bei den hydrau-
 erstarrenden Körpern. Selbst wenn Zement in langjähriger Lage-
; erhärtet ist, gelingt die Abbindung wieder, wenn die Moleküle
h Feinmahlung zertrümmert werden. Am härtesten werden solche
per natürlich unter Anwendung von starkem Druck.

Der Vorgang der Polymerisation von Bakelite vollzieht sich auch
 äußere Hilfe, aber in sehr langsamer Weise. Es ist nicht ratsam,
elite A, vor allem nicht das flüssige und nicht in der Wärme lange
lagern zu lassen.

Wie man unter Ausschluß der Lösung nur aus pulverisiertem Ba-
e, Faser und Füllstoffen elektrische Nichtleiter besonderer Güte
tellt, ist auf den Seiten 66 bis 72 beschrieben. Staubfeines Ba-
e wird von der Bakelite-Gesellschaft selbst hergestellt. Auch lassen
die betreffenden Kunstharze leicht pulvern, backen nicht wieder
mmen und sind auch sehr geruchschwach. Sie enthalten kaum
 ungebundenes Phenol. Diese Bakelitesorten kommen unter der
eichnung S. F. mit verschiedenen Nummern in den Handel. Wieder
hier betont, daß das Ziel in der elektrotechnischen Isoliertechnik
muß, ein schichtenfreies und ganz gleichförmig zusammengesetztes

[1]) Allerdings ergibt sich die strittige Frage, ob die zerkleinerten Bakelite-

Material zu erhalten mit überall derselben chemischen Zusammensetzung und derselben Dielektrizitätskonstanten. Feuchtigkeit, Gase wie Luft, durch Nebenreaktionen entstandene Stoffe und sonstige Verunreinigungen sind bei der Vereinigung von Bakelite mit den dazugehörigen Materialien sorgfältig herauszubringen. Auch ganz geringfügige dielektrisch ungünstige Stellen schaden und bereiten die Zerstörung der Isolierung im Laufe einer längeren Benutzung vor. Die Kontrolle durch dielektrische Verlustmessungen ist sehr empfehlenswert und wird jetzt stark bei der Lieferung begehrt.

Witterungsbeständig sind Hartpapierdielektrika jedoch nicht. Ihre Zähigkeit, Zug-, Druck- und Stoßfestigkeiten machen sie gegenüber dem Porzellan sehr wertvoll. Der Ausdehnungskoeffizient beträgt 30 bis $40 \cdot 10^{-6}$.

Einer der großen Vorteile der mit Bakelite hergestellten Isolierkörper ist deren Unlöslichkeit in kalten und heißen Ölen. Daher finden sie in Transformatoren, Ölschaltern u. dgl. ein großes Verwendungsfeld.

Nachstehend sind in einer Tabelle die Eigenschaften von Bakelitenichtleitern zusammengestellt.

	Hartpapiere	Preßkörper aus Bakelite-Holzmehl	Preßkörper aus Bakelite-Asbest
Druckfestigkeit	2500 kg/cm² senkrecht zur Schicht		
Zugfestigkeit	750 kg/cm²		
Biegefestigkeit	1200 bis 1500 kg/cm²	700 bis 800 kg/cm²	600 kg/cm²
Schlagbiegefestigkeit	28—30 cm kg/cm²	10—14 cm kg/cm²	
Kugeldruckhärte	0,01 cm	0,05—0,01 cm	
Wasserbeständigkeit	0—1 vH	0,05—0,1 vH innerhalb 48 Std.	
Wärmebeständigkeit	bis 200° C vorübergehend 300°	150° C	180° C
Verhalten in heißem Öl	beständig	beständig	beständig
Säurebeständigkeit	beständig auch gegen Salzlösungen	beständig	beständig
Spez. Gewicht	1,3—1,4	1,2	1,8—2
Durchschlagsfestigkeit	15—30 kV/mm senkrechter Schicht. Starke Wandungen weniger	14 bis 18 kV/mm	9 kV/mm
Oberflächenwiderstand	40—50000 $M\Omega$	1 Mill. $M\Omega$	50000 $M\Omega$
Dielektrizitätskonstante	3,5—5	4,5—5,5	2,5—3,0

XVII. Isolierende Öle.

Transformatorwindungen, Hochspannungsschalter und verschie-
ne sonstige Hochspannungseinrichtungen haben die unangenehme
genschaft, daß sie in vielen Fällen in elektrisch isolierenden Ölen ge-
ert sind. Wir benötigen also für eine Energieform, die unter Um-
nden feuergefährlich werden kann, ein Isoliermaterial, welches ex-
sive Zersetzungsprodukte in sich birgt. Trotzdem wird in der Hoch-
annungstechnik die Bedeutung des Öles als Dielektrikum immer
ßer. Ungeheure Mengen Öl werden für diese Zwecke benötigt.

1. Von den Ölsorten, welche es gibt, kommen hier nur die Harz-
d Mineralöle, vor allem die zuletzt genannten, in Betracht. Harzöle
tstehen aus pflanzlichen Rohstoffen, z. B. bei der Destillation von
lophonium. Sie zeichnen sich durch große Reinheit aus und sind
Transformatorenbetrieb durchaus geeignet. In Schaltern verhalten
sich deshalb ungünstig, weil sie im Lichtbogen stark kohlen. Bei
er Verwendung spielen auch wirtschaftliche Gründe sehr mit.

In den meisten Fällen werden Mineralöle benutzt. Sie sind in ihrer
emischen Zusammensetzung von großer Verschiedenheit, uns fehlt
tz einer Unmenge von Forschungsarbeiten noch ein genauer Ein-
ck in die Bestandteile. Auf kritische Untersuchungen ihrer Kon-
tution soll an dieser Stelle nicht eingegangen werden. Über die Öl-
dung in der Erde gibt es zwei Anschauungen, die Entstehung aus an-
ganischen Ausgangsstoffen mit dem Weg über die Karbide, und die
zt am meisten anerkannte Vorstellung des Entstehens aus vegeta-
en und animalischen Resten. Wie durch Destillieren und Filtrieren
r Naturfunde Transformatoren- und Schalteröl gewonnen wird, ist
s den Darstellungen von Fr. Frank in Schering, Isolierstoffe der
ektrotechnik, zu ersehen.

2. Bei der Beurteilung der Einwirkung des elektrischen Feldes auf
ineralöle hat man von der Vorstellung auszugehen, daß im Öl trotz
er Verarbeitung, welche auf elektrische Festigkeit hinzielt, dielek-
sch wesensverschiedene Stoffe enthalten geblieben sind, welche auf-
ander reagieren. Es ist uns durch das Experiment bekanntgeworden,
ß die kleinsten Unterschiede im Verhältnis von Leitfähigkeit zur
elektrizitätskonstanten mit der Zeit größere Schäden verursachen
nnen. Eine homogene Lösung ist Öl nicht. Es sind darin Stoffe
s noch unbekannter Zusammensetzung enthalten, welche sich teils
einander lösen, teils anlagern. Durch Polymerisationen, Konden-
tionen und Oxydationen ändert sich der Zustand des Öls. Nicht zu ver-
ssen ist, daß es im elektrischen Betrieb heiß wird, und die Wärme
ch den Vorschriften des VDE bis auf 95° C steigen kann. Es ent-
richt auch nicht den Tatsachen, daß niedrig siedende Bestandteile
antitativ durch die Vorbehandlung aus dem Öl herausgetrieben wer-
n. Durch den Sauerstoff der Luft sind die Öle allmählichen und
uernden Veränderungen ausgesetzt. Außerdem betätigen sich die
etalle, vor allem Zink, Eisen und Kupfer, als Reaktionen hervorrufende

ungleichmäßig heiße Schichten entstehen, so ist dies auch ein Umstand, welcher der elektrischen Festigkeit schadet. Messungen der Dielektrizitätskonstanten und der Leitfähigkeiten warm gewordener Transformatorenöle zeigen, daß schon bei den im Betrieb auftretenden und zulässigen Temperaturen ein sehr starkes Anwachsen der Verschiebbarkeit und ein beträchtliches Nachlassen der Leitfähigkeit stattfinden, was als Zeichen eines anisotropen Zustandes zu deuten ist. Die Konzentrationsänderungen haben Elektronen- und Ionenbildung zur Folge und veranlassen daher Stromwanderung. Durch die Umspinnung der Drähte treten feine Fäserchen in das Öl ein, welche sehr schaden, da sie elektrostatisch beeinflußt werden und Brücken bilden. Auch sonstige Verunreinigungen übler Art durch anorganische und organische Teilchen pflegen sich einzustellen.

Die größte Gefahr für die elektrische Festigkeit wird aber wieder, wie wir es von anderen Nichtleitern her schon kennen, auch beim Öl durch Luft und Feuchtigkeit hervorgerufen. Zeigt Öl schon in neutralem Zustande oxydierende Eigenschaften, indem es z. B. auf Baumwolle bei Anwesenheit von Luft derart reagiert, daß eine Selbstentzündung eintritt, so werden diese Affinitäten im elektrischen Felde aller Wahrscheinlichkeit nach noch verstärkt. Sauerstoff- und Hydroxylionen gehen Bindungen mit den Ölbestandteilen ein, welche teils löslich, teils unlöslich sind, sich am Boden des Ölgefäßes absetzen, aber auch in den Drahtwickelungen. Ein verschmutzter Transformator ist natürlich nicht in der Lage, den gewünschten Wärmeausgleich herbeizuführen. Die Verunreinigungen sind die Veranlassung, daß hohe Felddichten zustande kommen.

Gehen die genannten Vorgänge wegen der zur Verfügung stehenden geringen Mengen auch nur anfangs im kleinen Maße vor sich, so häufen sich doch mit der Zeit die Schäden und führen Zerstörungen herbei.

Den Explosionen, welche seltener in Transformatoren, häufiger in Ölschaltern durch Entzündung von Kohlenoxyd, Wasserstoff und gasförmiger Kohlenwasserstoffe aufgetreten sind, kann man durch konstruktive Maßnahmen begegnen. Die Schalter dürfen nicht zu klein bemessen sein. Der VDE hat hierfür die Richtlinien gegeben. Wenn in manchen Fällen kein Grund für eine Entzündung der Gase durch den Lichtbogen oder heiße Metallteile zu finden war, liegt noch die Möglichkeit vor, hierfür das Vorhandensein galvanischer Ströme verantwortlich zu machen. Schon eine 3proz. Mischung brennbarer Gase ist gefährlich. Schalteröle haben eine andere Aufgabe als Transformatorenöle, sie sind hauptsächlich dazu da, den Funken auszulöschen. Sie können deshalb außer durch Kohlenstoff durch zerstäubtes Metall verunreinigt werden. Man kann Ölgase als leitend ansehen.

Noch wenig aufgeklärt sind die elektrischen und chemischen Vorgänge bei der Herstellung von Voltolölen. Es können außer pflanzlichen und tierischen auch mineralische, vor allem die billigeren Sorten dieser Öle, benutzt werden. In geschlossenen liegenden zylindrischen Kesseln unter einem Gasdruck von ungefähr 60 cm Quecksilbersäule

.ungen ausgesetzt, welche mit Einphasen-Wechselstrom von
-4600 V Spannung und 500 Per/sek erzeugt werden. Als Elek-
ı dienen Aluminiumbleche von ungefähr 80 cm im Quadrat bei
n Stärke, welche durch Preßspan voneinander isoliert sind. Die
htung für die Behandlung des Öls mit Glimmlicht ist um die hori-
e Achse des Kessels drehbar eingerichtet. Der Prozeß verläuft bei
Temperatur von 80—100° C.

Während früher durch die Glimmentladung eine Anlagerung und
herung von Wasserstoff an die Kohlenwasserstoffe des Öles,
ne Polymerisation, angenommen wurde, denkt man sich jetzt die
ıg des hochviskosen Voltolöles dadurch entstanden, daß sich
Wärme Bindungen ergeben und eine elektrolytische Umwandlung
lmoleküle eintritt. Die Glimmentladungen verleihen den Mole-
hohe Geschwindigkeiten und zerlegen sie in Atome. Wasserstoff
ırt ab, und die gespaltenen Molekülreste lagern sich zu größeren
nden zusammen, so daß der Flüssigkeitsgrad steigt. Die hohe
sität, welche bis zu 170 Englergraden bei 100° C hinaufgeht, hat
durch die Behandlung mit elektrischen Glimmentladungen ent-
ınen Voltolöle in erster Linie als Schmiermittel wertvoll gemacht.

ei Anwendung hoher elektrischer Potentialdifferenzen auf Trans-
toren- und Schalteröle zeigt sich, daß ähnlich wie in Luft die
rung des Öles zuerst durch Glimmen sichtbar wird, einem Vor-
dem aber stille Entladungen längst vorhergehen und deshalb
angsam verlaufende Zerstörungen des Isolierstoffes. Da sich unter
erschiedenartigen Bestandteilen des Öls zahlreiche Gruppen be-
, welche mit Vorliebe Sauerstoff aufnehmen, setzt die Bildung
ıochmolekularen organischen Säuren, harzartigen Stoffen und
ın löslichen und unlöslichen Körpern ein, die auch sekundär wie-
ıfeinander reagieren. Wasser kann sich hierbei auch bilden. In
ın Mengen diese Reaktionsprodukte zustande kommen, ist von
Grade der Raffinierung abhängig, ferner von der Größe der Feld-
und außerdem von der Wirkung des Katalysators. Stets ist bei
n Erwägungen zu beachten, daß man dieselben Ölsorten bei
ıestellungen schwer in genau gleicher Zusammensetzung wieder
, ein Gesichtspunkt, welcher für den praktischen Gebrauch sehr
tlich ist.

rüher wurde angenommen, daß der Sauerstoff zunächst eine
ıerisation von Ölbestandteilen herbeiführt, und erst dann durch
e Sauerstoffaufnahme dieser polymerisierten Körper ein Zerfall
niedriger molekularen organischen Säuren stattfindet. Nach den
suchungen von H. Stäger im B.B.C.-Laboratorium ist dies je-
ıicht der Fall, sondern an Naphthen- und Methanölen wurde fest-
t, daß sich die Säuren zuerst bilden und erst daraus nach einiger
ie Schlammbildung einsetzt. Diese Reaktionen gehen außerdem
kontinuierlich vor sich, sondern in Stufen. Es setzt die Säure-
g zeitweilig aus.

ie Neigung des Öles, unter dem Einfluß des elektrischen Feldes

anderer Stoffe mit dem gelösten, dem aus der Luft stammenden und dem sekundär abgeschiedenen Sauerstoff sowie der Feuchtigkeit, besonders bei erhöhten Temperaturen, Zersetzungsprodukte zu bilden, welche teils gelöst bleiben, teils sich in den Wickelungen festsetzen, teils als Schlamm den Boden der Gefäße bedecken, schafft hier Zustände, welche unübersichtlich sind und sich im einzelnen schwierig verfolgen lassen. Für isolierende Öle ist es aber notwendig, ihre Oxydierbarkeit zu kennen. Man stellt deshalb bei ihnen die sog. „Teerzahl“ und die „Verteerungszahl“ fest.

Die erstere wurde von Kissling vorgeschlagen. Man ermittelte sie in der Weise, daß Öl mit einer 4 vH Ätznatronlösung, halb Wasser und halb Alkohol, 20 min auf dem Wasserbade gekocht, die Lauge ausgeschüttelt und der eingewanderte Bestandteil festgestellt wird. Die „Verteerungszahl“ soll einen Anhalt dafür geben, wie sich neues Öl im Transformator verhält.

Ferner kommt es bei den Transformatorölen auf ihren Flüssigkeitsgrad an, weil das Öl noch die wichtige Aufgabe hat, die entstandene Stromwärme abzuleiten. Auch die Kenntnis, bei welcher Temperatur sich aus dem Öl brennbare Gase entwickeln und in welchen Mengenverhältnissen diese stehen, ist notwendig. Ferner ist der Stockpunkt zu bestimmen, d. h. wann das Öl bei Kälte in den festen Zustand überzugehen beginnt und plastische Eigenschaften annimmt. Mineralöle sollen frei sein von Mineralsäuren. Organische Säuren und Aschegehalt dürfen nur geringe Werte aufweisen.

Dann ist zu unterscheiden zwischen einem Öl, welches von der Raffinerie im Kesselwagen und in eisernen Fässern, nicht in Holzfässern, angeliefert wird, und einem Öl, welches frisch im Transformator oder im Ölschalter Verwendung findet, und ferner einem Öl, das sich in diesen Anlagen in Gebrauch befunden hat.

Da sich auf keine Weise vermeiden läßt, daß der Transport von der Lieferantin aus durch die Wände der eisernen Gebinde und durch Schütteln und durch nähere Berührung mit der umgebenden Luft ohne Feuchtigkeitsaufnahme abgeht, soll das Öl vor der Einfüllung in die elektrischen Apparate von Unreinigkeiten, vor allem von Feuchtigkeit, befreit werden.

3. Der VDE hat auf Vorschlag der Kommission für Isolierstoffe Vorschriften für Transformatoren- und Schalteröle herausgegeben, welche hauptsächlich von G. Stern bearbeitet wurden. Sie sind in der ETZ 1924, S. 346 veröffentlicht und von der Jahresversammlung 1924 unter Gültigkeit vom 1. Oktober 1924 ab genehmigt. Nachstehend werden die Richtlinien wiedergegeben und anschließend daran die Methoden der Prüfungen.

Vorschriften für Transformatoren- und Schalteröle[1]).

§ 1. Die Vorschriften treten am 1. Oktober 1924 in Kraft.

§ 2. Die Vorschriften der § 3—7 beziehen sich sowohl auf neues als auf im Apparat angeliefertes Öl. Die Vorschriften der § 8—10 beziehen sich

[1]) Angenommen durch die

ich auf neues Öl, die Vorschrift des § 11 bezieht sich auf ein dem im ebe befindlichen Transformator oder Apparat entnommenes Öl.

§ 3. Als Mineralöle sollen für Transformatoren und Schalter nur nate verwendet werden. Auf Schiefer- und Braunkohlenteeröle be- n sich diese Vorschriften nicht.

§ 4. Das spezifische Gewicht darf nicht weniger als 0,85 und nicht mehr ,95 bei 20° C betragen.

§ 5. Der Flüssigkeitsgrad (Viskosität) bezogen auf Wasser von 20° bei einer Temperatur von 20° C nicht über 8° Engler sein.

§ 6. Der Flammpunkt, nach Marcusson im offenen Tiegel bestimmt, nicht unter 145° C liegen.

§ 7. Der Stockpunkt des Schalteröles muß mindestens −15° C be- n, der Stockpunkt des Transformatorenöles braucht nicht tiefer als -5° C zu liegen.

§ 8. Das neue Öl muß bei 20° C vollkommen klar sein; es muß frei von Mineralsäure. Der Gehalt an organischer Säure darf höchstens erechnet als Säurezahl) betragen. Der Gehalt an Asche darf 0,01 vH übersteigen.

9. Das neue Öl muß praktisch frei von mechanischen Beimengungen

10. Die Verteerungszahl des neuen ungekochten Öles darf 0,2 vH überschreiten.

11. Die dielektrische Festigkeit des dem im Betriebe befind- n Transformator oder Apparat entnommenen Öles soll, ge- n nach den Prüfvorschriften, im Mittel 60 kV/cm nicht unterschreiten. ie dielektrische Festigkeit geringer, so muß das Öl gereinigt bzw. er- t werden. Ergibt das Erhitzen des Öles im Reagenzglase auf rund C das Vorhandensein von Wasser durch knackendes Geräusch, so igt sich die Untersuchung der dielektrischen Festigkeit und das Öl getrocknet werden.

Unter neuem Öl (§ 8, 9, 10) ist ein Öl zu verstehen, wie es in Kessel- ı oder Eisenfässern von der Raffinerie angeliefert wird. Die An- ng darf nicht in Holzfässern erfolgen.

Die Untersuchung, ob die Öle diesen Vorschriften entsprechen, hat den nachstehenden Prüfvorschriften zu erfolgen:

Prüfvorschriften.

us den Kesselwagen oder Eisenfässern sollen Proben nach den folgen- Vorschriften entnommen werden:

) Für Kesselwagen: Ein Glasrohr von $1^1/_2$—2 m Länge (etwa n l.W.), das auf der einen Seite rund abgeschmolzen ist, so daß man es mit dem Daumen verschließen kann, und auf der anderen Seite ein stumpf angezogen ist, wird in geöffnetem Zustande langsam durch Dom des Wagens bis zum Boden des Kesselwagens eingeschoben, so beim Durchschieben aus allen Teilen des Wageninhaltes Teile in das eintreten. Wenn das Rohr den Boden berührt, wird es mit dem ien verschlossen und aus dem Wagen herausgehoben. Der Inhalt des s und das etwa außen anhaftende Öl wird in ein Gefäß gebracht. icher Weise wird die Probeentnahme so oft wiederholt, bis mindestens Probemenge von 2 l vorhanden ist. Es wird nochmals gut umgerührt ie so entnommene Probe in zwei Teile geteilt, von denen der eine für Kontrollprüfung für den Fall der bei der Werkuntersuchung gefun- Abweichung zurückgestellt wird. Wird die Probe als einwandfrei tet, so kann eine Gegenprobe höchstens für die Sammlung von Ver- smaterialien bzw. Beanstandungen, genau bezeichnet und einwand- rschlossen, zurückgehalten werden. Eine Verpflichtung hierzu besteht bei erfolgter Abnahme nicht.

) Für Eisenfässer: Ein Glasrohr, gleicher Ausführung wie zu a)

Probe entnommen oder doch jedenfalls soviel, daß aus der gesamten Sendung wieder eine Probemenge von rund 2 l gebildet werden kann. Auch hier wird wieder gut durchgemischt und im übrigen wie oben verfahren.

Über die Probeentnahme aus dem im Betriebe befindlichen Transformator oder Apparat siehe die Erläuterung zu § 11.

Erläuterungen.

Zu § 4. Die Ausführung der Bestimmungen des spezifischen Gewichtes kann nach einer beliebigen Arbeitsweise vorgenommen werden. Für die Umrechnung auf 20⁰ ist der Ausdehnungskoeffizient von 0,007 zu benutzen (z. B. gefundenes spezifisches Gewicht

bei 15⁰ = ...	0,8700
Korrektur = 5 × 0,0007 = ...	−0,0035
Spezifisches Gewicht bei 20⁰	0,8665).

Zu § 5. Zur Viskositätsbestimmung wird der Apparat von Engler benutzt (siehe Holde, „Untersuchung der Kohlenwasserstoffe, Öle und Fette", 4. Aufl., S. 139, 5. Aufl., S. 23).

Zu § 6. Zur Flammpunktbestimmung ist der im „Holde" 4. Aufl., Abb. 74 u. 75 (5. Aufl., Abb. 35) abgebildete Apparat mit wagerechter Flammenführung zu benutzen (Versuchsausführung vgl. 4. Aufl., S. 178, bzw. 5. Aufl., S. 61/62). Hierzu sind die vorschriftsmäßigen, von der PTR geeichten Flammpunktthermometer zu verwenden, bei deren Eichung die Korrektur für den herausragenden Faden bereits berücksichtigt ist.

Zu § 7. Das Verhalten des Öles in der Kälte muß derart sein, daß es nach einstündigem Abkühlen auf − 15⁰ C bzw. − 5⁰ C noch fließt. Die Prüfung geschieht nach dem folgenden Verfahren:

Das Öl wird in ein 15 mm weites Reagenzglas 3 cm hoch mit der Pipette eingefüllt, und zwar so, daß die Glaswand oberhalb des Ölspiegels nicht benetzt wird. Das Reagenzglas wird mittels eines Gestelles oder Halters senkrecht in das Kühlgefäß eingestellt und eine Stunde lang bei − 15⁰ C abgekühlt. Die Abkühlung erfolgt in einer Salzlösung, die durch Auflösung von 25 Teilen Salmiak in 100 Teilen Wasser zu bereiten ist. Die Abkühlung dieses Bades wird durch Einstellung der Lösung in eine Mischung von Eis und Viehsalz bewirkt. Nach Ablauf einer Stunde wird das Reagenzglas, ohne es herauszunehmen, in eine schräge Lage gebracht und die Veränderung des Flüssigkeitsspiegels beobachtet. Der flüssige Zustand des Öles zeigt sich nach dem Herausnehmen des Reagenzglases daran, daß die Glaswandung vom Öl einseitig benetzt ist.

Zu § 8.

a) Reinheit des Öles. Zur Feststellung, ob das Öl klar ist, wird eine frisch aus dem Versandgebinde entnommene Probe in einem Reagenzglase von 15 mm l. W. 1 h lang bei 20⁰ C der Ruhe überlassen. Ist die Probe nach dieser Zeit klar, so entspricht sie den Anforderungen. Eine Trübung kann auch von zu hohem Wassergehalt herrühren, der sich durch Kochen beseitigen läßt.

Zum Nachweis von freier Mineralsäure werden (nach Holde) 100 cm³ mit 200 cm³ heißem destillierten Wasser im Scheidetrichter oder Kolben kräftig durchgeschüttelt, bis sich das Öl genügend im Wasser verteilt hat. Nach dem Absetzen filtriert man die wässerige Schicht durch ein angefeuchtetes Faltenfilter und versetzt das Filtrat mit einigen Tropfen Methyl-Orange, wobei keine Rotfärbung eintreten darf.

b) Säurezahl. 10 g Öl werden in einen 200 cm³ fassenden Erlenmeyer-Kolben eingewogen und in 75 cm³ eines vorher neutralisierten Gemisches von zwei Teilen Benzol und einem Teil Alkohol aufgelöst. Hierbei wird nach Versetzen mit einigen Tropfen Phenolphthaleinlösung (bei dunkelgefärbten Ölen kann Alkaliblau 6 B [2 cm³] zugesetzt werden) aus einer Bürette eine genau

ılag) zugegeben. Die Säurezahl ist der Verbrauch an mg KOH für ıgewandtes Öl. Wurden bis zum Farbumschlag beispielsweise $^3/_{10}$ cm³ verbraucht, so errechnet sich die Säurezahl wie folgt:

$$\frac{,3 \times 5{,}6}{10} = 0{,}168 \text{ mg KOH} \Big\} \text{ (5,6 ist die Anzahl gKOH/Liter in } ^1/_{10} \text{ normaler Kalilauge).}$$

äurezahl ist dann 0,168.

) Aschegehalt. Etwa 20 g, besser etwa 100 g Öl werden in einem aus Platin, Porzellan oder Quarz auf der Wage eingewogen (Schale ist r auszuglühen und für sich auf der analytischen Wage zu wiegen) und freier Flamme langsam bis zum Brennpunkt erhitzt. Sobald sich die ıpfe entzündet haben, muß man mit dem Erhitzen vorsichtig fort- ı, um Verspritzungen zu vermeiden. Nachdem das Öl abgebrannt ist, der entstandene Ruß vorsichtig abgeglüht. Sollte sich schwer ver- licher Koks gebildet haben, so ist die Asche mit heißem Wasser aus- ıen und durch ein quantitatives Filter zu filtrieren. Das Filtrat wird n vorher benutzten Tiegel, nachdem die Kohle und das Filter in diesem annt sind, zur Trockne eingedampft. Der gesamte Rückstand wird vorsichtig bis zur beginnenden Rotglut erhitzt und nach dem Er- ı gewogen.

u § 9. Mit dem Ausdruck „praktisch frei" ist gemeint, daß keine ıskopisch sichtbaren Beimengungen vorhanden sein dürfen.

u § 10. Verteerungszahl. Es wird darauf hingewiesen, daß die ımung der Verteerungszahl besonders schwierig ist und im Zweifel- von einem Spezialchemiker ausgeführt werden muß.

) Allgemeine Methode, die bei Transformatoren- und lterölen im Zweifelfalle als Schiedsmethode gilt (70 h O_2). 150 g des frischen ungebrauchten, filtrierten Öles werden in einem n³ fassenden Erlenmeyer-Kolben (Schott & Gen., Jena) in einem e 70 h ununterbrochen unter gleichzeitigem Durchleiten von Sauer- auf 120° C erwärmt. Der Sauerstoff passiert 2 Waschflaschen, von ı die erste mit Kalilauge (spez. Gewicht 1,32), die zweite mit konz. efelsäure (spez. Gewicht 1,84) beschickt ist (die Waschflaschen sollen assungsvermögen von mindestens $^1/_4$ l bei hoher zylindrischer Form ı und etwa auf $^1/_5$ ihrer Höhe mit der Waschflüssigkeit beschickt sein). Erwärmung wird in einem zuverlässig regelbar geheizten Ölbade aus- rt. Die vorgeschriebene Temperatur ist in dem zu untersuchenden Öl ıerwachen. Das Ölbad ist mit einem Rührwerk auszustatten. Der ın ist durch einen Korkstopfen mit seitlicher Einkerbung verschlossen, ı den das 1—2 mm über dem Boden des Kolbens mündende Einleitungs- führt (die l. W. des Einleitungsrohres soll genau 3 mm, die Anzahl der n je s 2 betragen).

Nach der geschilderten 70stündigen Vorbehandlung werden 50 g des urchgerührten Öles in einem mit Rückflußkühler versehenen, 300 cm³ ıden Erlenmeyer nach Zusatz einiger Siedesteine 20 min lang auf ıdem Wasserbade mit 50 cm³ eine Lösung erwärmt, die durch Auf- von 75 g möglichst reinem Ätznatron in 1 l dest. Wasser und durch ıfügen von 1 l 96 vH Alkohols zu bereiten ist. Ohne den Rückfluß- r zu entfernen, wird hiernach das warme Gemisch 5 min lang kräftig üttelt, wobei der Kolben zweckmäßig mit einem Tuch umwickelt wird. Inhalt wird nach dem Erkalten in einen Scheidetrichter übergeführt ıach eingetretener Schichtung ein möglichst großer Anteil der alkoho- wässerigen Lauge durch ein gewöhnliches Filter in einen Kolben filtriert. dem Filtrat werden 40 cm³ abpipettiert, in einem zweiten Scheide- er mit einigen Tropfen Methyl-Orange versetzt und mit Salzsäure ır deutlichen Rotfärbung der Flüssigkeit angesäuert (hierzu sind etwa Salzsäure vom spez. Gewicht 1,124 erforderlich). Die durch das An-

Spur eines Rückstandes hinterlassen darf) aufgenommen. Das Ausschütteln ist mit 50 cm³ Benzol in einem dritten Scheidetrichter noch einmal zu wiederholen.

Nach dem Ablassen der wässerigen Schicht wird der erste Benzolauszug im Scheidetrichter Nr. 3 mit dem zweiten Benzolauszuge vereinigt, wobei der Scheidetrichter Nr. 2 mit etwas Benzol nachzuspülen ist. Der Benzolauszug wird dann im Scheidetrichter Nr. 3 zweimal mit je 50 cm³ dest. Wasser sorgfältig ausgeschüttelt. Starkes Schütteln ist zu vermeiden, da sonst Emulsionsbildung eintritt.

Nach dem Ablassen der letzten sichtbaren Wasserreste wird die im Scheidetrichter zurückbleibende Benzollösung in einen Weithals-Stehkolben von 250 cm³ Inhalt (Schott & Gen., Jena) übergeführt, der zuvor mit einigen Siedesteinen gemeinsam auf der analytischen Wage gewogen wurde. Dieser Kolben wird mit einem tadellosen, gut ausgepreßten und von jeglichem Korkstaub befreiten, durchbohrten Korken, in dem ein möglichst direkt über ihm abgebogenes weites Dampfableitungsrohr steckt, das in einen Kühler mündet, verschlossen und mittels eines Ringes, der Einkerbungen zum Durchleiten des Wasserbaddampfes besitzt, auf das Wasserbad gestellt. Kolben und Ableitungsrohr werden dann mit einem oben geschlossenen Blechmantel überdeckt, der an einer Seite zur Durchführung des Ableitungsrohres geschlitzt ist. Das Wasserbad wird dann so stark erhitzt, daß die in den Blechmantel steigenden Dämpfe diesen und damit auch Kolben und Ableitungsrohr mit erwärmen und so jegliches Dephlegmieren der Benzoldämpfe verhindern. Nach dem Eindampfen wird etwas Alkohol (absoluter oder 96 vH) zugegeben, um etwa vorhandenes Wasser zu verjagen, und der Kolben offen und liegend auf das mit gewöhnlichem Ringe versehene Wasserbad gestellt, so daß die schweren Dämpfe bequem abfließen können. Dann wird der Kolben in einem auf 105° eingestellten Trockenschrank 10 min lang getrocknet und nach dem Erkalten gewogen. Die gefundene Teermenge wird mit 2,5 multipliziert und die Verteerungszahl vH errechnet.

b) Abgekürzte oder Natriumsuperoxyd-Methode (Na_2O_2). Falls die Ergebnisse dieser Methode den Grenzwert überschreiten, muß zur Kontrolle die allgemeine Methode (a) verwendet werden.

Bei Ausführung der Natriumsuperoxyd-Methode kommt die 70stündige Vorbehandlung mit Sauerstoff in Fortfall. In den 400 cm³ fassenden Erlenmeyer-Kolben, der absolut trocken sein muß, werden 3 g des Natriumsuperoxydes eingewogen. Dazu werden 50 g des frischen, filtrierten Öles gegeben und danach 50 cm³ der oben beschriebenen alkoholisch-wässerigen Lauge hinzugefügt. Der Kolben wird mit Rückflußkühler verschlossen und auf dem Wasserbade vorsichtig unter häufigem Umschütteln 20 min lang erwärmt. Wird die Reaktion zu heftig, so muß zwischendurch der Kolben vom Wasserbade entfernt werden.

Die weitere Arbeitsweise ist die gleiche, wie oben geschildert, nur mit der Änderung, daß zum Ansäuern der Lauge eine größere Menge Salzsäure erforderlich ist.

Zu § 11.

1. Entnahme der Probe. Das zu untersuchende Öl soll dem Apparat (z. B. Transformator oder Ölschalter) möglichst an einer Stelle entnommen werden, die dem tiefsten unter Spannung stehenden Teil naheliegt. Die zur Entnahme der Probe dienenden Gefäße müssen peinlich sauber und trocken sein.

Die Temperatur des zu untersuchenden Öles soll 15—25° C betragen.

2. Elektrodenform und Abstände innerhalb der Prüfapparate.

Als Elektroden werden Kupferkalotten von 25 mm Halbmesser nach nebenstehender Skizze gewählt.

Der Abstand der Kalottenwände von der Gefäßwandung (Glas oder

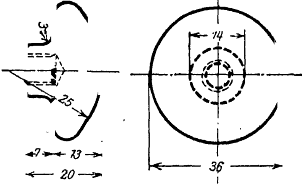
›i Einführung beider Elektroden vom Ölspiegel aus soll der Mindest-
d zwischen den Zuleitungen 45 mm betragen. Die Zuleitungen selbst
einen Durchmesser von mindestens 5 mm haben.

Ölmenge. Die Ölmenge soll mindestens 0,25 l betragen.

Reinigung. Die Elektroden und das Gefäß sind vor jeder Versuchs-
nit einem Lederlappen blank zu reiben und mit Benzol zu reinigen.
reinigte Apparat ist vor dem Versuch möglichst mit einem Teil des
ersuchenden Öles auszuspülen.

Versuchsanordnung. Zwei Versuchsanordnungen sind zulässig:

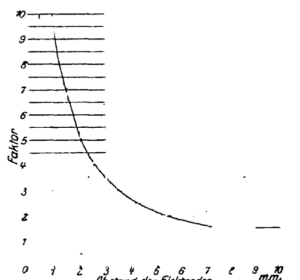
Fester Elektrodenabstand. Der Abstand der Kalotten soll
ser Versuchsanordnung 3 mm
en.



e Spannung wird variiert ent-
durch feinstufige Änderung
regung, falls ein besonderer
tor vorhanden ist, oder
Regeln von vor die Nieder-
ngwicklungen des Transfor-
geschalteten Widerständen.

Variabler Elektroden-
nd bei konstanter Span-
Auf der Hochspannungseite
ı fester Widerstand von etwa
Ω vorgeschaltet sein.

er Prüftransformator soll bei beiden Versuchsanordnungen bei voller
ng mindestens 30 kV auf der Hochspannungseite geben. Die Leistung
icht weniger als 250 VA be-
. Bei größeren Transforma-
ist u. U. durch Vorschalten
üssigkeitswiderständen dafür
gen, daß der Hochspannung-
beimAnsprechen der Funken-
nicht mehr als 0,5 A beträgt.
egelung oder Dämpfung sind
tall- oder Flüssigkeitswider-
zulässig.



Verlauf der Unter-
ıng. Beim Eingießen des
nd Luftblasen nach Möglich-
ı vermeiden, indem man das
der Gefäßwand langsam her-
ufen läßt.

or Anlegen der Spannung
as Öl 10 min im Prüfgefäß
stehen.

ie Regelung der Spannung
les Elektrodenabstandes soll
m Durchschlag ungefähr 20 s erfordern. Die Spannung soll mög-
schnell nach dem Durchschlag abgeschaltet werden.

n ganzen sind 6 Durchschlagsversuche anzustellen. Das Ergebnis
sten Versuches darf zur Beurteilung des Öles nicht herangezogen
ı. Maßgebend ist der Mittelwert der letzten 5 Durchschläge.

ach jedem Durchschlag ist das Öl zwischen den Elektroden durch
hren mit einem reinen und trockenen Glasstäbchen zu erneuern.

m die Durchschlagfestigkeit in kV/cm zu ermitteln, ist bei Methode A
fundene Mittelwert der Durchschlagspannung mit dem Faktor 3,5 zu
lizieren.

ei Methode B ergibt sich der Faktor aus der vorstehenden Kurve.

4. Die Bestimmung der Verteerungszahl gibt nach neuen Untersuchungen zu Bedenken Anlaß, und zwar deshalb, weil nach der vorgeschriebenen Prüfmethode ausschließlich die Befähigung der Säuren, Schlamm zu bilden, festgestellt wird. Die übrigen Möglichkeiten, welche hier bestehen, das Öl zu polymerisieren, werden auf diese Weise nicht erfaßt, z. B. sind die katalytischen Einflüsse der Metalle unberücksichtigt geblieben. Auch diejenigen Reaktions- und Zwischenreaktionsprodukte bleiben ausgeschaltet, welche in kaltem Öl unlöslich sind, sich in heißem Öl aber in Lösung befinden und Ablagerungen auf den Kühlschlangen bilden, welche der Wärmefortleitung dienen.

Die Prüfung mit Natriumsuperoxyd hat keine befriedigenden Ergebnisse gehabt.

Im Gegensatz zu der in § 10 vorgeschriebenen Prüfmethode gehen die englischen Verbände so vor, daß sie die katalytische Wirkung des Kupfers durch Einlegen eines Streifens dieses Metalls in das zu prüfende Öl berücksichtigen und 45 Stunden lang bei einer Erhitzung des Öles auf 150° C Luft durchsaugen. Es darf nicht mehr als 0,05 vH Schlamm entstehen, falls das Öl als brauchbar angesehen wird. Auf diese Weise kommen stark oxydierende Wirkungen, besonders durch die labilen Persäuren, zustande, welche bei den im Betrieb sich abspielenden Prozessen in der Tat gar nicht vorhanden sind (Sludgemethode).

Eine Untersuchung des Öles, welche den praktischen Bedingungen im Transformator besser entspricht, indem sie die Schlammbildung und die Säurebildung erfaßt, stammt aus dem Schweizer Laboratorium vom BBC. Das Öl wird bei 112° C in zehn offenen Kesseln aus Kupfer unter Luftzutritt erhitzt. Die einzelnen Gefäße von 1,2 l Inhalt sind mit je 1 l Öl gefüllt und enthalten außerdem einen Kupferdorn, welcher mit Baumwollgarn von bestimmter vorher festgestellter Festigkeit bewickelt ist. Weiter sind in jedem Ölkessel drei Reagenzgläser, in welchen sich außer dem Öl Kupferspäne und ein mit Baumwollgarn bewickelter Kupferdorn befinden. Sie besitzen am Ende eine Ausdehnungskugel und sind so von der umgebenden Luft abgeschlossen. Diese 10 Gefäße mit Inhalt werden in einem elektrisch geheizten Ölbad 3 Stunden der schon vorher genannten Temperatur von 112° C ausgesetzt. Nach 100 Stunden wird ein Reagenzglas auf Farbenänderung hin in Augenschein genommen und das Baumwollgarn auf Zu- bzw. Abnahme seiner mechanischen Festigkeit in der Zerreißmaschine geprüft, indem man dabei aus 15 Zahlenwerten das Mittel nimmt. Man vergleicht dieses Mittel mit dem Wert der Festigkeit, welche derartiges Garn beim Liegen im Öl besitzt, als es von der Raffinerie kam.

In derselben Weise wird das Garn geprüft, welches sich auf den Kupferdornen der mit Luft in Berührung stehenden Kesseln befindet. Eine Probe des gut durchgerührten Öles wird entnommen und gestöpselt stehengelassen, damit sich der Schlamm, eventuell mit Benzin versetzt, am Boden niederschlägt. Nach 24 Stunden stellt man, gegebenenfalls mittels Zentrifugierens, fest, wieviel Volumenprozente sich flockig oder sandig abgeschieden haben. Außerdem wird festgestellt,

Nach 200- und nach 300stündiger Erhitzung werden die gleichen
ittelungen wie vorher ausgeführt. Man gelangt so, von der Wirkung
elektrischen Feldes abgesehen, zu einem Abbild der in Praxis auf-
nden Verhältnisse und ist in der Lage, den Angriff des Öles auf
Baumwollumspinnung kennen zulernen. Mehr wie 0,3 vH Schlamm
das Öl, wenn es brauchbar sein soll, nicht enthalten.

Auch im Chemischen Laboratorium der AEG-Transformatoren-
ik wird die Ansicht vertreten, daß z. B. überraffinierte Öle hinsicht-
ihrer Verteerungszahl den Anforderungen genügen würden. Sie
n aber erheblich mehr Schlamm ab, wie nach der Höhe dieser Ver-
ungszahl vorausgesetzt wird. v. d. Heyden und Typke befür-
eten deshalb, neben der Verteerungszahl noch die Schlammbildung
ustellen. Ihr Vorschlag geht dahin, das in 70stündiger Erhitzung
120° C bei gleichzeitiger Sauerstoffeinleitung verteerte Öl auf
ammbildung zu untersuchen. Hat sich jetzt schon ein schlammiger
erschlag eingestellt, so ist das Öl ohne weiteres als nicht brauchbar
ewerten. Sonst sind 50 g auf die Bestimmung der Verteerungs-
laut VDE.-Vorschrift zu verwenden. Auf Schlamm hin wird unter
gen an die BBC-Prüfung untersucht, indem man 7,5 cm³ Öl mit
dreifachen Menge Normalbenzin versetzt und nach 12stündigem
en den Schlammgehalt mißt.

5. Auch über die Festlegung des Flammpunktes gehen die Mei-
en auseinander, weil ein zu hoher Flammpunkt einen hohen Stock-
t zur Folge hat.

6. Wie auch schon vom VDE ausgesprochen wird, werden
ussichtlich im Laufe dieses Jahres noch Änderungen
„Vorschriften für Transformatoren- und Schalteröle"
enommen.

7. Das Entwässern der Öle, bevor sie in die Apparate gefüllt wer-
nimmt man z. B. dadurch vor, daß man sie auf ca. 110—120° er-
. Die dabei entstehenden Abdampfverluste sind nicht unbedeutend,
etzten Feuchtigkeitsspuren gehen aber so nicht heraus, weil in
die Wasserkügelchen eine starke Siedepunktsverzögerung erleiden.
es Öl saugt Feuchtigkeit stärker auf wie kühles.

Besser verfährt man, wenn unter Vakuum erwärmt wird. Bei 30 bis
n Quecksilbersäule findet eine bessere Entfeuchtung statt,
ge Reaktionsprodukte treten hierbei weniger auf. Allerdings pflegen
hier einige flüchtige Bestandteile abzugehen. Chemische Um-
ngen treten bei allen diesen Erwärmungen im Öl ein.

Über den Einfluß, welchen der Wassergehalt im Öl ausübt, ver-
en wir R. M. Friese bedeutsame Aufklärungen, welche in den
nschaftlichen Veröffentlichungen aus dem Siemenskonzern, I. Bd.,
ft, niedergelegt sind.

Da sich der Gehalt des Wassers in Öl quantitativ schwer bestimmen
ist hier so vorgegangen, daß sorgfältig getrocknetes Öl mit ge-
nem destillierten Wasser versetzt und kräftig geschüttelt wurde,
ß eine Emulsion eintritt. Man kann unter dem Mikroskop die

trägt, besonders in gefärbtem Zustande, erkennen, sie umgeben beim Filtrieren durch Papier die Fäserchen, ohne daß sie in dieselben eindringen. Friese stellt bei Benutzung von Zylinderfunkenstrecken folgende Gleichung für die Durchschlagsfestigkeit D in kV/cm auf: $D = \frac{1,1 + 20}{W}$, wo W der Wassergehalt in Tausendstel des Ölgewichtes ist.

Hieraus ergibt sich, daß der Durchschlagswert nicht unter 20 kV/cm heruntergeht. Wahrscheinlich nimmt das Öl nur eine bestimmte Menge Wasser auf und lagert den Überschuß am Boden ab. In der Zeit, als die Betriebsspannungen im Transformator niedriger wie jetzt waren, genügte das Öl damals den gestellten Anforderungen.

Die elektrischen Festigkeiten, welche man bei den technisch üblichen Trocknungsverfahren erreicht, sind nicht größer als im Höchstfalle 130 kV/cm, wieder gemessen bei Anwendung von Zylinder-Funkenstrecken unter Benutzung sinusförmigen Wechselstroms von 50 Per/sek. Man gelangt aber, wie hier weiter ermittelt wurde, durch zweistündige Erhitzung einer kleinen Ölprobe auf 110° C bei gleichzeitiger Luftleere von 10^{-4} cm Quecksilber und Benutzung eines Wattefilters bei Anlegen von zwei runden Elektroden von 10 mm Durchmesser im Abstand von 2,3 mm zu einem elektrischen Festigkeitswert von 230 kV/cm. Es wurde auch noch die Eigenschaft des entfeuchteten Öles, aus der Luft von 80 vH Feuchtigkeitsgehalt Wasserdampf aufzusaugen, durch Messung der elektrischen Festigkeit untersucht. Nach 1, 3, 5 und 15 Tagen fiel die Durchschlagsfestigkeit von 145 kV/cm auf 100, 60, 40 und 20 kV/cm. Es ist aber weiterhin beobachtet, daß feuchtes Öl an trockene Luft Wasser abgibt. In einem Falle stieg die elektrische Festigkeit des Öles innerhalb 10 Tagen von 25 auf 130 kV. Dann wurde ermittelt, daß Öl, welches über Wasser steht, nur langsam mit Wasser verunreinigt wird. Man soll es deshalb von unten abziehen. Den Einfluß des Luftdruckes auf die elektrische Festigkeit reiner entfeuchteter Öle stellt Friese nach der Näherungsformel fest: $D = 86 + 0,08\,B$ kV/cm, wo B der Barometerstand in Millimeter Quecksilbersäule ist. Die täglich schwankenden Barometerstände verursachen daher nur Störungen von rund 2 vH. Mit steigender Temperatur sind die Öle dünnflüssiger und elektrisch fester. Eine Ölsorte hatte bei 60—70° C ihren Höchstwert, welcher dann etwas abnahm. Beobachtet wurden für 20° und 65° Werte von 130 bzw. 175 kV/cm. Friese berechnet für den Grad Celsius bei den üblichen Zimmertemperaturen einen Koeffizienten von 1,5—3 kV.

Daß geringer Wassergehalt in Öl dessen Durchschlagsfestigkeit herabsetzt, ist schon hervorgehoben. Dies geschieht aber auch noch außerdem durch Verunreinigung des Öles mit Fasern und Suspensionen. Man schickt deshalb das Transformatorenöl ein oder mehrere Male durch gewöhnliche Filter, pergamentierte Hartfilter von Schleicher & Schüll, Ultrafilter, Kolloidmembranen, Massen aus Aluminiummagnesiumhydrosilikaten, teils unter Druck und neuerdings auch kalt oder warm durch Zentrifugen. Das Zentrifugieren entfernt Wasser

daß die Luft reichlich Gelegenheit findet, sich in besonders star-
Maße im Öl zu lösen. Im Transformator ist durch die Draht-
ɔinnung und durch Hartpapierisolierstoffe immer Gelegenheit vor-
len, daß Fäserchen von Baumwolle und Papier, ebenso Tränkstoffe,
Bakelitesuspensionen, ins Öl gelangen.

Gebrauchte Öle mit Hilfe von Fullererde (Aluminiummagnesium-
osilikate) so zu reinigen, daß sie wieder gut verwendungsfähig
en, ist nach den Feststellungen von v. d. Heyden und Typke
, 1925, S. 1518 nicht unter allen Umständen möglich. So ist diese
ode dann nicht angängig, wenn ein hoher Säuregehalt vorhanden
In diesem Fall bleiben erhebliche Säuremengen sowie teerige
ındteile im Öl zurück. Dagegen bewirkt die Behandlung der Öle
niedrigem Säuregehalt mit Fullererde eine hinreichende Erniedri-
von Säure- und Verteerungszahl.

3. Nimmt man die höchstzulässige Temperatur des Öles von 95°
o werden die Wickelungen schätzungsweise auf 150° C erwärmt.
ıier der Zellstoff vom Öl verändert wird, kommt auf die Ölzusammen-
ng an. Ölverbindungen, welche leicht Sauerstoff abgeben, können
Bildung von Oxyzellulose führen, also große Zerstörungen verur-
n. Hydrozellulose verringert die mechanische Festigkeit auch.
ibt aber auch Ölteile, welche derart auf Baumwolle wirken, daß
losehydrat, ein Quellungsprodukt, entsteht, welches die Baum-
fester macht. Abscheidungen von Verunreinigungen auf den Win-
en schaden nicht nur wegen der verringerten Wärmeabfuhr, son-
bewirken auch einen starken Angriff des elektrischen Feldes.

). Bei der Reinigung des Öles durch Zentrifugen wird vom Boden
'ransformators das Öl abgesaugt. Zweckmäßig ist, daß es so wenig
nöglich an die Luft kommt. Nachher, wenn es die Fliehkraft-
ung durchgemacht hat, kann man es noch über Hartfilter schicken
erreicht elektrische Festigkeiten von 300 kV/cm. F. Schröter,
ıer auch den vorher genannten Wert gefunden hat, gibt im Arch. f. El.
l2, Heft 1, an, daß durch Fasern und Wasser verunreinigtes
rart in seiner Durchschlagsfestigkeit streut, daß diese nicht zu defi-
n ist, weil durch das Feld Feuchtigkeit und Schmutz zwischen die
roden gesaugt wird.

)b die Faserteilchen oder sonstige Unreinigkeiten dazu beitragen,
er aus der Luft anzunehmen, oder ob diese Neigung allein dem Öl
nmt, ob wasserfreies Öl mehr Anziehung zum Wasserdampf in der
besitzt oder umgekehrt, ferner, in welchen Beziehungen die Öl-
eratur zu diesen Erscheinungen steht, ist bislang mit voller Sicher-
ıoch nicht anzugeben. Ebenso ist unsicher, wie die Mengen der
ndierten Fasern sich zur elektrischen Festigkeit des Öles verhalten
wie die Temperatur und das elektrische Feld, sowie die Luftein-
sse im Öl und die Schlierenbildung chemische Umsetzungen hervor-
, d. h. die Stromleitung begünstigen.

.0. Werden verschmutzte, lange in Gebrauch gewesene Öle unter-
hat man gefunden, daß diese trotz großer Verschlammung und

keit aufweisen, welche um 40 kV/cm herum beträgt. Aber wegen der Angriffe der Säuren auf die Umspinnung ist dieses Öl nicht mehr gebrauchsfähig. Im Schlamm befinden sich außer hochmolekularen asphaltartigen Verbindungen Eisen- und Kupferseifen, Fasern verschiedener Art und Verunreinigungen, welche durch das Arbeiten der Bedienungsmannschaften in den Transformator hineingelangt sind.

11. Unter Benutzung einer Zylinderfunkenstrecke wurden Versuche über die Leitfähigkeit von Transformatorenölen von K. Draeger vorgenommen, Arch. f. El., Bd. 13, Heft 5. Er hat die Leitfähigkeit bei kurzen Stromdurchgängen gemessen, ebenso nach einer Dauer von 6 Minuten. Sie klingt im zweiten Fall langsam ab, erreicht bei Unterbrechung aber wieder ihren Anfangswert. Die Anfangsstromstärken richten sich annähernd nach dem Ohmschen Gesetz, dagegen trifft dies bei Änderungen des angelegten Potentialgefälles nicht mehr zu, wenn dieses sich längere Zeit betätigt. Beachtenswert für die Herstellung elektrisch fester Öle ist die Beobachtung, daß Suspensionen und Emulsionen nur einen geringen Einfluß auf die Leitfähigkeiten ausüben, dagegen gehen diese bei einem Wasserzusatz in feinverteilter Form sofort stark herauf. Ebenso steigen sie mit der Erwärmung des Öles. Es wurde hier der annähernde Verlauf nach einer Exponentialfunktion festgestellt.

Über die Ursache der Leitfähigkeit kommt Draeger auf Grund seiner Untersuchungen zu der Ansicht, daß diese durch gelöste und elektrolytisch gespaltene Fremdstoffe hervorgerufen wird, zu einem nur geringen Anteil durch Eigendissoziationen und äußere Strahlung.

Er beschäftigt sich dann weiter mit Durchschlagsversuchen und ist der Meinung, daß bei den technisch gereinigten Transformatorenölen der Durchschlag fast immer durch Fasern und diesen ähnlichen Stoffen, welche sich an den Elektroden befinden, veranlaßt wird. Deshalb erblickt er in Messungen mit Gleichstrom ein Reagenz für die Verunreinigung mit Suspensionen. Öl, welches einem ganz besonders sorgfältigen Verfahren zur Entfernung aller Fremdkörper unterzogen wurde, zeigt zwischen Kugelelektroden von 20 mm Durchmesser im Abstand von 1,75 mm bei langsamer Vergrößerung des Potentialgefälles und sinusförmiger Spannung von 50 Per/sek Durchschlagsfestigkeiten von mehr als 400 kV/cm. Bis zu 2 mm Entfernung der Elektroden von einander ändert sich die elektrische Festigkeit in starker Weise, von 2—10 mm nimmt sie weniger schnell ab. Bei Wechselstrom ist sie größer wie bei Gleichstrom, nimmt mit dem Wachsen der Periodenzahl erst schneller, dann langsamer zu.

Erwärmungen des Öles im Intervall zwischen 15 und 60° C bedingen ein gleichmäßiges Steigen der Durchschlagsfestigkeit, welche mit dem umgekehrten Wert der Viskosität annähernd proportional geht.

Verfasser ist nicht der Überzeugung, daß der Fasergehalt unter allen Umständen die Veranlassung zu einem wesentlichen Rückgang der elektrischen Festigkeit des Öls ist. Er stellte feuchtigkeitsfreie Fasern von Kraftzellstoff und Baumwolle durch Auskochen mit wasser-

ıstanzen in reichlicher Menge in frisches entwässertes Öl. Dabei
ıben sich Durchschlagsfestigkeiten um 380 kV/cm herum, und zwar
h dann, wenn unter Luftabschluß das Öl durch Eisen oder Kupfer
ılytisch beeinflußt war.

Sowie das Öl aber Luft und Feuchtigkeit in genügender Weise
der Luft aufgenommen hatte, ging die Durchschlagsfestigkeit
ınter. Es ist anzunehmen, daß jetzt die vereinigte Wirkung von
:trischem Feld, Luft, Wasser und Faserstoffen an der Verschlechte-
g des Öls schuld ist. Die Fäserchen saugen schnell Feuchtigkeit und
ren auf, die Oxydation der Transformatorenöle kann bis zur Bildung
Ameisensäure erfolgen.

Bei Wasser in Form von kleinen Tropfen besteht infolge seiner
en Dielektrizitätskonstanten im starken elektrischen Felde zweifellos
großer Wanderungszwang, es werden notwendigerweise dadurch
ı andere Bestandteile veranlaßt, sich endosmotisch zu betätigen.
die Auffassung von Gyemant, Zeitschr. f. Phys., Bd. 33 (1925),
89, richtig ist, daß die feinen Wassertröpfchen durch Streckung und
einanderlagerung leitende Fäden in Öl bilden, kann nicht ohne
:eres entschieden werden. Aber der große Unterschied in den
.ektrizitätskonstanten der beteiligten Stoffe läßt zum Teil derartige
:heinungen zu.

Die Eigenschaften der vielen feinen aufsaugungsfähigen Fäserchen
. auch insofern zu beachten, als dadurch Trennungen in den schwer
leichtflüssigen Ölbestandteilen sowie ihrer Zersetzungsprodukte und
nengungen herbeigeführt werden. Es entstehen also auch auf diese
Stoffe, welche sich elektrostatisch wie auch in bezug auf ihre elek-
:he Leitfähigkeit voneinander unterscheiden.

12. Draeger hat ferner die Vorgänge bei dem elektrischen Durch-
:h der Transformatorenöle noch unter der Bestrahlung mit ultra-
ettem Licht, Röntgen- und Radiumstrahlen studiert, um Aufschluß
:rlangen, wie sich die Verzögerung vollzieht. Er findet, daß selbst
kräftiger Dosierung der Strahlen nur eine geringe Herabsetzung
an und für sich bedeutenden Durchbruchsverzögerung stattfindet
kommt zum Ergebnis, daß der Gehalt an Ionen, welche durch ein
nsives elektrisches Feld zum Spalten von Molekeln und für die Bil-
g weiterer Ionen befähigt sind, in der Nähe der Elektroden gering
muß.

Dieses Verhalten ist für den Hersteller elektrisch fester Öle außer-
:ntlich interessant und bedeutet Fingerzeige, nach welcher Rich-
g hin sich die Zusammensetzung günstiger gestalten läßt.

W. Späth hat schon früher im Arch. f. El. 1923, Bd. 12, Heft 14,
geteilt, daß Bestrahlungen von Transformatorölen mit Radium und
avioletttem Licht die Verzögerung des elektrischen Durchbruchs
.t beeinflussen. Er arbeitete mit der von Schumann angegebenen
:trodenform von 90 mm Durchmesser aus Rotguß, sinusförmigem
:hselstrom von 50 Per/sek und Elektrodenabständen von 1—8 mm.

Bei Gleichstrom konnten Polarisationsvorgänge festgestellt werden.

Die Untersuchungen von Draeger und Späth können die Ansichten von Günther—Schultze in seinem Buch über die dielektrische Festigkeit stützen, welche die Ähnlichkeit des Durchschlages in Flüssigkeiten mit dem Durchbruch in Gasen hervorheben.[1] Die Ionen der Flüssigkeiten werden zum Teil durch das elektrische Feld in Reaktionsprodukte übergeführt, welche gewissermaßen Fäden oder Bahnen von Gasen oder Dämpfen bilden, andere Ionen werden mehr beschleunigt als die eben genannten und bewirken durch Aufprall auf neutrale Molekeln, daß diese in Ionen zerfallen und sich an der elektrolytischen Wanderung, d. h. der Zerstörung der Isolierstoffe beteiligen.

13. Zum Messen der Durchschlagsfestigkeit von Transformatoren- und Schalterölen hat die A.-G. Siemens & Halske einen Apparat konstruiert, welcher Prüfungen nach den Vorschriften des VDE ermöglicht. Das Prüfgefäß ist für die Aufnahme von 1 l Öl eingerichtet und besitzt Kupferelektroden, welche als Kugelkalotten von 50 mm Durchmesser ausgebildet sind und eine konstante Entfernung von 3 mm voneinander haben. In einem fahrbaren Gehäuse ist außer diesem Ölbehälter noch der Hochspannungstransformator untergebracht, welcher bis zu 30 kV Spannung heraufreicht. Mit einem Dreheisen-Spannungsmesser wird die elektrische Festigkeit des Öles ermittelt.

14. Von der American Society For Testing Materials sind 1920 Messungen über das Verhalten von Transformatorenölen bei wechselnden Entfernungen der Elektroden und Elektrodenformen sowie bei verschiedenen Temperaturen veranlaßt. Außer einem übersichtlich zusammengestellten Zahlenmaterial ist nichts Besonderes dabei herausgekommen. Die Ergebnisse lassen sich schwer mit unseren vergleichen, weil Angaben über den Zustand der Öle fehlen. Der Temperaturkoeffizient von 1,3 kV/Grad erscheint sehr niedrig. Es wurden bei jeder Füllung des Prüfgefäßes 5 Durchschläge bei einer Temperatur von 25° C vorgenommen. Die Zirkulation des Öles an den Elektroden hat die Prüfungsergebnisse nicht nennenswert beeinflußt. Es wurden auch Untersuchungen elektrischer Öle nach den deutschen und englischen Richtlinien vorgenommen, wobei sich herausstellt, daß die Bestimmung der Verteerungszahl ganz grob voneinander abweichende Güteergebnisse hervorbringt.

15. In Frankreich hat die Union des Syndicats de l'Electricité 1920 Lieferungsbestimmungen angenommen, welche in der Revue Generale de l'Electricité 1920, Bd. 7, S. 727 veröffentlicht sind. Fr. Frank hat darüber in der ETZ 1921, S. 982 referiert. Es werden folgende neun Forderungen aufgestellt:

1. Rückstandsbildung; 2. Flamm- und Brennpunkt; 3. Viskosität bei verschiedenen Temperaturen; 4. Gewichtsverlust beim Verdampfen; 5. spezifisches Gewicht; 6. Stockpunkt; 7. Gehalt an Säuren, Alkalien und Schwefel; 8. Prüfung auf Feuchtigkeit; 9. elektrische Festigkeit.

Nach fünfstündigem Erhitzen auf 150° C darf sich keine Rückstandsbildung zeigen, nach 50 Stunden gleicher Behandlung darf sie

H. Man verfährt so, daß 10—12 Gramm Öl im Reagenzglas ins
d gebracht werden. Der Niederschlag wird mit Petroläther auf-
mmen und auf ein gewogenes Filter gespült, dann mit Tetrachlor-
ənstoff extrahiert. Lösliches und Unlösliches wird bestimmt, die
hen asphaltartigen Stoffe sollen die vorher benannten Prozent-
nicht übersteigen.

Ferner wird das Öl durch einen Färbeversuch beurteilt. Das vom
ımm abfiltrierte Öl wird mit Amylalkohol und mit dem angelie-
n Öl verglichen. Die Methode erscheint nach Fr. Frank un-
r.

Bei den französischen Prüfmethoden ist also die katalytische
ferwirkung unberücksichtigt gelassen.

Im übrigen scheinen die französischen Bestimmungen noch zu sehr
lie amerikanischen Öle eingestellt.

Der Punkt 4 der Bestimmungen ist aber beachtenswert, nämlich
/erdampfbarkeit. Nach fünfstündiger Erwärmung auf 100° C sollen
Verwendung von 150 g Öl nicht mehr wie 0,2 vH flüchtige Stoffe
hen. Diese Forderung läßt wichtige Schlüsse auf die Zusammen-
ıng des Öles zu. Selbst geringfügige leicht abtreibbare Bestand-
sind unter hoher Felddichte gefährlich.

Zur Bestimmung der elektrischen Festigkeit füllt man das Öl in
ı Glaszylinder von 35 mm Durchmesser und legt zwischen zwei
əln von 12,5 mm Durchmesser und 5 mm Abstand eine Wechsel-
nspannung von 40 kV an. Durchschlag darf nicht erfolgen, wenn
Öl gebrauchsfähig sein soll.

16. Aus allem, was über Öle und besonders über das Verhalten von
unter der Einwirkung des elektrischen Feldes mitgeteilt wurde,
ist, daß die hier auftretenden vorliegenden Verhältnisse recht ver-
kt liegen. Es treten deshalb in den Forschungsarbeiten auch gegen-
iche Ansichten auf. Jedenfalls darf man nicht nur die chemische
virkung des Sauerstoffs auf die Ölbestandteile allein berücksich-
sondern auch die Wirkung der angelegten Potentialdifferenz und
sekundären Erscheinungen, welche durch die verschiedenen Öl-
llate, Faserverunreinigungen, Luft und Wasser hervorgerufen
len.

17. Um das Öl gegen die Einwirkungen des Luftsauerstoffes besser
chützen, legt die General Electric Co. die Transformatorenwindun-
in Öl, welches von einer chemisch trägen Gasschicht umgeben ist,
erzielt dadurch eine geringere Verteerung. Im chemischen Labo-
rium der AEG-Transformatorenfabrik stellen v. d. Heyden und
ke fest, daß Öle, in die Stickstoff oder Kohlensäure eingeleitet
, nicht mehr zersetzlich sind und auch durch Metalle nicht kata-
ch beeinflußt werden. Sie halten eine Behandlung mit derartigen
ferenten Gasen vor oder bei der Raffination für besonders zweck-
ig.

Daß der Ersatz der chemisch und dielektrisch schädlichen in Öl
sten Luft durch ein nicht reaktionsfähiges Gas vorteilhaft ist,

sätzlich geändert werden, indem man durch Luftleere kurz vor der Füllung des Transformatorgefäßes erst alle Luft und Feuchtigkeit aus dem Öl herausholt, damit sämtliche gefahrbringenden Stoffe verschwinden und dann erst die Sättigung mit Stickstoff, Kohlensäure, Argon, Neon u. a. vornimmt. Derartige Gase können unter Umständen auch in kondensierter Form zum Sättigen verwendet werden. Ob unter einer solchen Stickstoffschicht eine jahrelang dauernde Bewahrung des Öles vor Säurebildung und Schlammabscheidung möglich ist, kann nur der Betrieb entscheiden. Es steht ja auch nichts im Wege, durch Nachfüllung von kondensiertem Gas die Luftfreiheit aufrecht zu erhalten. Auf alle Fälle deutet aber das vorliegende Versuchsmaterial darauf hin, daß die Lagerung elektrischer Hochspannungsapparate unter luftfreiem Öl Aussicht auf eine erhebliche Verbesserung der elektrischen Festigkeit hat. Ferner ist zu erwägen, die indifferenten Gase und damit die ganze innere Apparatur unter Gasdruck zu setzen und in diesem Zustand dauernd zu belassen.

18. In einer sehr eingehenden Untersuchung, die im Dettmarschen Laboratorium in Hannover entstanden ist, hat L. Hentschel Beiträge über das dielektrische Verhalten ölgetränkter Papiere geliefert, welche im Arch. f. El. Bd. 15, Heft 2, 1925 veröffentlicht sind. Er ging aus von ungeleimten Zellulosepapieren großer Aufsaugefähigkeit, welche mit russischem Transformatorenöl, ferner mit amerikanischem Transformatorenöl und dann noch mit Vaseline und Paraffinöl getränkt wurden. Und zwar geschieht dies in Anlehnung an die Praxis dadurch, daß die Papiere im Trockenofen von Feuchtigkeit befreit und schnell in ein Gefäß übergeführt werden, welches die gereinigten Öle enthält. Im Ölbad wird das Gefäß auf 90—100° C erwärmt und der Inhalt mit einer Wasserstrahlpumpe einige Stunden luftleer gemacht.

Bei den Messungen des Verlustwinkels, die mit der Scheringschen Brücke vorgenommen wurden, stellt sich an den fertig imprägnierten Papieren eine große Inkonstanz heraus. Als Grund hierfür wird das Vorhandensein von Luft im Dielektrikum angesehen. Aber selbst bei sorgfältigster Imprägnierung unter verstärkter Luftleere bleibt dieser Zustand bestehen, so daß nur zwei Annahmen bleiben, nämlich 1. ein doch noch Vorhandensein von Luft im getränkten Papier, oder 2. die Befähigung des Öles, analog der Luft selbständige Entladungen zu bilden.

Daß die Oberfläche vieler Stoffe befähigt ist, die Gase festzuhalten, ist bekannt. Bei der Elektrolyse können z. B. in manchen Metallen, wie Paladium, ganz erhebliche Wasserstoffmengen okkludiert werden, welche das Potential und damit den ganzen elektrolytischen Prozeß in wesentlicher Weise verändern. Die Trennung von Metall und Gas kann teilweise nur durch Ausglühen erfolgen. Die große Zähigkeit von Kapillaren, die Luft zu binden, wurde schon im X. Kapitel erwähnt.

Vom Öl wissen wir, daß es schon an sich auf organische Stoffe oxydierend einwirkt, also viel mehr noch bei Vorhandensein von Luft und

reifen-, Büschelentladungen und Durchschläge stattfinden, kann als
›lge einer elektrolytischen mit Gasentwicklung verbundenen Zer-
tzung angesehen werden. In der Hentschelschen Arbeit finden sich
ehrfach Belege dafür, daß der Stromdurchgang durch Öl auf elektro-
tische und elektroosmotische Vorgänge zurückzuführen ist.

Bei den Untersuchungen, wie sich der Verlustwinkel oberhalb
ıd unterhalb des Ionisierungspunktes ändert, stellt sich heraus,
ıß dieser bei Papieren, die nur mit reinem Öl imprägniert sind,
hr tief liegt und sich dies auch nicht durch das Übereinanderlegen
ehrerer Lagen erheblich verbessern läßt. Aus diesem Grunde wird
r die Kabelisolation dem Öl Harz zugemischt. Mit wachsenden Fre-
ıenzen setzt die Ionisierung, also die chemische Zersetzung, eher ein,
enso mit steigender Temperatur.

Die Vergrößerung der Verschiebbarkeit in den geschichteten Öl-
ıpieren erklärt Hentschel durch eine vergrößerte Oberfläche, welche
ırch die Glimmentladungen hervorgerufen wird.

Um die ölgetränkten Papiere kennen zu lernen, welche mit einem
chtwasserfreien Öl hergestellt wurden, sind Versuche derart vorge-
ımmen, daß zunächst reines Öl von 183 kV/cm Festigkeit mit beliebigen
engen destillierten Wassers in Emulsionsform gemischt wurden. Die
ırchschlagsfestigkeit ging zuerst schnell herunter bis auf ein Drittel
s ein Viertel, blieb dann aber verhältnismäßig konstant.

Immerhin ist also der Wert nach Hentschel erheblich größer,
s ihn Friese (s. S. 97) fand. Es hängen mithin diese Erscheinungen
ın der Art des Öles ab.

Die Tränkung des vorgetrockneten Papieres mit dem Öl wurde bei
ımperaturen von annähernd 100° C vorgenommen, dann wurden die
ıpiere 15 Minuten lang bei derselben Temperatur erwärmt. Die Ver-
stwinkel und die Dielektrizitätskonstanten fünfschichtiger Bänder
eigen mit dem Wassergehalt, die elektrische Festigkeit des getränkten
olierstoffes leidet wenig unter dem Wasserzusatz. Wahrscheinlich ist
die Poren und Fäserchen das reine Öl eingedrungen und das Wasser
eb in Tröpfchen draußen hängen.

Interessant ist der Versuch, daß je nach den mechanischen Um-
inden das Öl im Papier zu wandern vermag. Die Folge sind physi-
lische und chemische Änderungen.

Die elektrolytische Strombewegung, durch Gleichstrom hervor-
rufen, wurde im zeitlichen Verlauf des Nachlade-, Rückstands- und
itungsstroms untersucht und mit den Wechselstrommessungen ver-
chen.

Technisch wertvoll wird es sein, die Imprägnierung unter Ab-
hluß von Luft in indifferenten Gasen vorzunehmen und die-
ben Prüfungen anzustellen, wie es Hentschel gemacht hat.

19. Um die Parallität mit elektrolytischen Vorgängen zu zeigen,
nn die Beobachtung von V. Engelhardt[1]) beitragen, welcher die
elektrische Festigkeit isolierender Öle gemessen hat. Er fand, daß

sich an Kugelelektroden, welche mit Benzol abgespült waren, sehr niedrige Durchschlagsfestigkeiten des Öles ergeben. Es hat sich eine Wasserhaut gebildet, welche Vorentladungen zuläßt. Werden die Kugeln sorgfältig gereinigt und getrocknet, haben sich Werte von 40 kV/cm elektrischer Festigkeit eingestellt.

Solche Störungserscheinungen sind bei elektrolytischen Prozessen nichts Außergewöhnliches. Man könnte bei Öl auch noch probieren, ob dieselben elektrischen Festigkeiten unter sonst gleichen Bedingungen immer wieder reproduzierbar sind, wenn nach dem ersten Überschlag die Elektroden stets von neuem, ohne gereinigt zu sein, wieder benutzt werden. Und ferner, welche Werte sich ergeben, wenn die Elektroden-Apparatur in Öl unter einem schon vorhandenen Potentialgefälle hineingesetzt wird, das möglichst groß ist.

20. Die Erscheinung, welche verschiedene Versuchsansteller, so auch Friese und Draeger beobachtet haben, daß Öle mit ansteigender Temperatur elektrisch fester werden, was den elektrolytischen Gesetzen widerspricht, kann dadurch seine Erklärung finden, daß die Verminderung der Zähflüssigkeit ein chemisch gleichmäßiger zusammengesetztes Dielektrikum zur Folge hat. Diese Wirkung überwiegt dann bis zu einem Höchstmaß der Erwärmung das sonst eintretende Herabgehen der dielektrischen Eigenschaften. Festgestellt ist, daß die Dielektrizitätskonstanten sich bei Erwärmung des Öls ändern.

21. Es sollen noch Versuche von W. L. Brückman-Delft angeführt werden, welche deshalb interessant sind, weil sie das elektroendosmotische Verhalten der Öle im elektrischen Felde zeigen. Infolge einer Rizinusbeimischung hatten sich durch künstliche Beleuchtung deutlich erkennbare Rizinusschlieren in Richtung der Kraftlinien eingestellt. Als man dann Öle verschiedener Dielektrizitätskonstanten mischte, trat die Trennung der Ölbestandteile durch das elektrische Feld wie vorher deutlich zutage. Man konnte beinahe die Entmischung der Flüssigkeit als Faserbildung ansehen.

22. W. L. Brückman und A. C. Piyl haben ferner festgestellt ETZ 1926, S. 14, daß sonst unlösliche Vergußmasse unter der Wirkung des elektrischen Feldes sich in Öl verteilt, also wandert. Dabei hat die elektrische Festigkeit des Öls nicht gelitten.

Ferner stellten diese Forscher fest, daß Papier, welches mit Öl getränkt ist, durch das elektrische Feld an den Kanten der Elektroden oxydiert wird. Wahrscheinlich wird dieser Vorgang durch eine Zersetzung des Öls hervorgerufen.

23. Ende April d. J. tritt in Neuyork die Internationale Elektrotechnische Kommission zusammen, in der Deutschland auch vertreten ist. Auf der Tagesordnung steht u. a. Vorbereitung internationaler Bestimmungen für Prüfmethoden von Isolieröl (Transformatoren- und Schalteröl).

24. Für den Elektrotechniker ist es notwendig, daß er mit leichter Mühe feststellen kann, ob das Öl in seinen Transformatoren noch brauchbar ist oder schon eine derartige Zersetzung erlitten hat, daß

hundert Transformatorenöle untersucht hat, gibt hier folgende
vorzunehmende Methode an.
ı ein Reagenzglas füllt man Natronlauge von 38° Beaumé und dar-
las verdächtige stark verbrauchte Öl. Man schüttelt kalt oder unter
mung beide Stoffe tüchtig durcheinander. Ist das Öl nicht mehr
ndungsfähig, bildet sich nach einiger Zeit an der Trennungsfläche
.üssigkeiten ein dunkler Ring, der aus Reaktionsprodukten ent-
welche nicht in Öl und auch nicht in der Natronlauge löslich

ritt dieser schwarze Ring nicht in Erscheinung, kann das Öl ohne
en weiterbenutzt werden.

XVIII. Isolierende Lacke.

ur Herstellung von elektrisch isolierenden Überzügen dienen die
. Sie sind sowohl ihrer Zusammensetzung nach wie in ihren
schaften außerordentlich voneinander verschieden. Es ist genügend
tur vorhanden, welche hierüber Auskunft gibt.
Während es für die gewöhnlichen Verwendungszwecke meistens
t, wenn durch die Lackierung gut deckende Überzüge entstehen,
t bei den Isolierlacken noch hinzu, daß diese tief in das Innere
ewebe, Papier, Umspinnungen, Umwicklungen eindringen müssen,
ıch hier elektrisch isolierende Schichten zu bilden.
. Wertvolle elektrische Lacke sind z. B. diejenigen, welche aus
en und fetten Ölen hergestellt werden. Kopale sind fossile Harze,
oer nicht ohne weiteres verwendungsfähig sind, sondern zuvor
Schmelzen eine chemische Umwandlung zu erfahren haben, wo-
hebliche Gewichtsverluste sich einstellen. Unter fetten Ölen ver-
man solche, welche durch Oxydation trocknen und fest werden.
ichtigste ist das Leinöl. Durch Sauerstoffaufnahme bilden sich darin
ride der Oxylinolsäuren. Der Mischung von Kopalen und Lein-
etzt man noch Tepentinöl zu und gegebenenfalls ein sog. Trocken-
. Letzteres beruht auf der katalytischen Wirkung einer Anzahl
lverbindungen, die Oxydation des vegetabilen Öles zu beschleuni-
So sind Verbindungen von Mangan, wie leinölsaures und harz-
ı Mangan, sehr geschätzt. Terpentinöl ist ein ätherisches Öl,
es sich trotz seines hohen Siedepunktes sehr leicht verflüchtigt.
Flammpunkt liegt bei 30°—32° C. Seine Anwendung bei der
kation von Lacken ist vor allem darin begründet, daß es gierig
stoff aus der Luft aufnimmt und so die Trocknung der Lacke
mern beschleunigt. Die sog. Terpentinölersatzstoffe besitzen
Eigenschaften nicht, sie können die Lackerhärtung nur durch
Verdunstung fördern.
Der Verarbeitung von Kopalen ist eine Konkurrenz entstanden
die Verwendung von öllöslichen Kunstharzen der Phenolaldehyd-
e, welche unter dem Namen „Albertole" im Handel sind.
. Die Erhärtung der eben aufgeführten Lacke geht also durch

der Fall bei Lacken, welche mit Spiritus, Benzol u. dgl. angesetzt werden. Hier verdunstet das Lösungsmittel, die Schicht aus Kolophonium, Asphalten u. a. setzt sich als harter, meist spröder Rückstand ab.

3) Bei der Lackierung mit elektrisch isolierenden Lacken wendet man mit Vorliebe für die Trocknung Wärmeöfen an, welche sich luftleer machen lassen. Auf diese Weise sucht man die letzten Reste an Lösungsmitteln heraus zu holen, der Erhärtungsprozeß wird erheblich gefördert. Nicht bis zu Ende oxydierte Leinöllacke enthalten Stoffe, welche dissoziierbar sind und daher den elektrischen Strom leiten. Es sind deshalb diejenigen Öllacke besonders sorgfältig der Behandlung mit Luftsauerstoff zu unterziehen, welche einen hohen Prozentsatz von dem stark sauren Leinölfirnis enthalten.

4. Überblickt man den Chemismus und die Einflüsse, welche vom elektrischen Feld ausgehen, so läßt sich erkennen, daß viele Möglichkeiten für eine Stromwanderung vorhanden sind. Erst dann, wenn sich keine freien Säuren und Basen geltend machen können und die Oxydation des Lackes ihr Ende erreicht hat, tritt die elektrische Festigkeit ein. Bedingung hierfür ist aber auch, daß die fertige Lackschicht überall an Stoffbeschaffenheit durchaus gleichmäßig ist. Die Erhärtung von Lacken, an welche von außen her Luftsauerstoff herantreten muß, vollzieht sich in den inneren Schichten erheblich langsamer. Bleiben hier Stellen, deren Oxydation nicht vollständig erreicht wurde, bestehen, ist der Lack elektrisch schlecht. Da die Reaktionen der schwer molekularen organischen Körper langsam verlaufen, brauchen sie selbst bei gleichzeitiger Erwärmung viel Zeit. Wird das Verdünnungsmittel aus der Lackierung herausgezogen, hat man dabei vorsichtig zu verfahren, um keine Konzentrationsverschiebungen hervorzurufen. Überheizte Lacke zersetzen sich natürlich, von ihnen ist keine elektrische Isolierfähigkeit zu erwarten. Schätzenswerte Eigenschaften, wie gute Streichfähigkeit und Elastizität sowie Unangreifbarkeit durch heiße Mineralöle, wie solche in Transformatoren verwendet werden, können durch einen starken Leinölzusatz erreicht werden. Feuchtigkeit darf auch nicht im Lack bleiben. Dabei ist zu berücksichtigen, daß Verdünnungsmittel, vor allem Alkohol, gern Wasser aus der Luft annehmen.

5. Einen Universallack, der allen Anforderungen der elektrischen Praxis entspricht, gibt es nicht, man hat daher jeweilig eine Auswahl zu treffen. In Betracht kommen als Lösungs- und Verdünnungsmittel Äthyl- und Methylalkohol (Holzgeist), Benzin, Benzol, Leinöl, Mohnöl, Nußöl, Hanföl, Rizinusöl, Holzöl und andere trocknende vegetabile Öle, Äther, Terpentinöl, Terpentinölersatz, Azeton, Schwefelkohlenstoff, Tetrachlorkohlenstoff, Chlorhydrine und zahllose andere Lösungen. Außer den genannten Kopalen verarbeitet man auch andere fossile und rezente Harze, wie Dammar, Bernstein, Schellack, Kolophonium, ferner natürliche und künstliche Asphalte, Paraffine, Kautschuk, Guttapercha, Wachs, Nitrozellulose u. a. Dann kommen weiterhin Azetylzellulosen, Kondensationsprodukte von Phenolen und Aldehyden, Kasein u. a. in Frage. Der Erhärtungsvorgang ist infolge der

nnte chinesische Holzöl wird jetzt in stark zunehmender Weise r Anfertigung von Lacken verarbeitet. Während Leinöl auch in r Dunkelheit fest wird, ist dies bei Holzöl nicht der Fall. Dieses aucht zunächst die ultravioletten Strahlen, um sich dann zu poly-erisieren bzw. oxydieren.

6. Wie sich die Wirkung des elektrischen Feldes auf die Lack-sung, den in Erhärtung begriffenen und den vollständig gleichmäßig härteten Lack vollzieht, wie Gase, Luft und Feuchtigkeitseinschlüsse, lektrolyte, weiche Stellen, chemische Umbildungen usw. zur Ver-hlechterung des Nichtleiters beitragen, kann aus den Darstellungen r früheren Kapitel entnommen werden. Es erübrigt sich deshalb, chmals zur Erklärung dieser Vorgänge sämtliche Register zu ziehen.

Lacke sind Nichtleiter in dünnen Schichten, sie haben beim Hart-erden den Vorteil der Nachgiebigkeit. Ist irgendwo unter Luftleere n Hohlraum geblieben oder entstanden, so zieht sich die Masse gummi-tig zusammen, die Oberfläche wird eingedrückt und der Hohlraum erschwindet. Dies ist bei Preßmassen und bei den durch Ofenbrennung ewonnenen mineralischen Isolierstoffen nicht der Fall. Es gelingt eshalb auch bei dünnen Lacken, Nichtleiter von sehr hoher spezifi-her elektrischer Festigkeit herzustellen.

Baumwollumspinnungen können sehr unter Lackierungen leiden, elche säurehaltig sind. Werden sie mit solchen Lacken, vor allem im fen, behandelt, pflegt oft schon nach kurzer Zeit Lack, Umspinnungen nd Kupfer durch den elektrischen Strom zerstört zu werden.

Ofenlacke sind hinsichtlich ihrer elektrischen Festigkeit und ihrer lastizität besser wie Luftlacke, sie haben aber diesen gegenüber den achteil, daß sie nicht so leicht in die Tiefen des Papieres oder der Um-pinnungen eindringen. Diesem Umstande ist daher bei der Erhärtung echnung zu tragen, und durch passende Regulierung des Wärme-rozesses ist eine dielektrisch richtige und vollständige Umwandlung, auch er tiefsten Schichten, zu veranlassen. Nach erfolgter Entfeuchtung, Ent-asung und Polymerisation kann die Zuendeführung des Erhärtungs-rozesses in einer Atmosphäre von indifferenten Gasen vorgenommen erden, damit der Ionisierungspunkt, besonders bei Hochspannungs-ichtleitern, so hoch wie möglich hinaufrückt.

7. Die eben zum Ausdruck gebrachten Gesichtspunkte kann man uch bei der Herstellung von Emailledrähten berücksichtigen, also bei solierten Drähten, wo anstelle der Gespinnstumhüllung eine Lack-chicht tritt. Erreicht wird dadurch eine geringe Stärke der isolieren-len Schicht und infolgedessen Raumersparnis am fertigen Apparat, erner damit zusammenhängend ein verminderter Verbrauch an Lei-ungskupfer, weil die Spulen einen kleineren Durchmesser besitzen, und chließlich eine erhöhte Wärmebeständigkeit der Isolierung und Un-mpfindlichkeit gegenüber Feuchtigkeitseinflüssen.

Die Emaillierung der Drähte nimmt man in der Weise vor, daß einer blanker Kupferdraht durch eine Lacklösung hindurchgezogen wird. Der Draht wird dann durch einen heißen Raum geführt und das Lösungs-

lackierte Draht geht dann noch mehrere Male durch die heiße Lacklösung, bis die gewünschte Dicke der isolierenden Hülle erreicht ist.

Dünne Emailledrähte werden vor ihrer Verwendung zweckmäßig auf elektrische Festigkeit geprüft. Bei Drahtstärken von mehr als 1 mm Durchmesser ist dies aber unnötig, weil sich hier infolge genügender Deckung keine Mängel bei der Lackierung einzustellen pflegen. Die Prüfung der dünnen Drähte von 0,025—1 mm kann in der Weise erfolgen, daß sie durch Quecksilber laufen, indem Fehlerhaftigkeiten durch Aufleuchten einer Glühlampe oder durch Registrierung durch ein Zählwerk festgestellt werden. Durch einen mitlaufenden Papierstreifen läßt sich auch die Lage der fehlerhaften Stellen ermitteln. Ein Lackdrahtprüfapparat von der C. Lorenz A.-G., welcher auch bei dem Telegraphentechnischen Reichsamt zur Prüfung der Postdrähte Eingang gefunden hat, vermeidet die Benutzung von Quecksilber, indem der Draht zwischen Walzen hindurchgezogen wird.

Die Verwendung von Emailledrähten nimmt immer größeren Umfang an, besonders bei der Herstellung von Apparaten für die Schwachstromtechnik. Schwachstromkabel, die sog. Lackpapierkabel, welche früher nur mit Baumwolle und Seide angefertigt wurden, bestehen aus Emailledraht und einer zusätzlichen Papierumwickelung.

8. Dem wertvollen Ausgangsmaterial für Hochspannungsnichtleiter, Bakelite, war das 16. Kapitel vorbehalten. Es lassen sich aus diesen Phenolharzen auch elektrisch isolierende Lacke herstellen, welche fest an der Unterlage haften und erhebliche Belastungen vertragen, ehe Zerstörung erfolgt. Erst bei einem Druck von 900 kg, welche durch eine Stahlkugel von 10 cm Durchmesser auf ein mit Bakelitlacke bestrichenes Aluminiumblech übertragen wurden, zeigten sich bei einem Versuch Risse. Mit Ausnahme von konz. Schwefelsäure und konz. Salpetersäure wird Bakelitelack von sonstigen scharfen Reagenzien nicht angegriffen. Die elektrische Festigkeit der Überzüge auf Papier, Leinen und Seide ist bedeutend. Es genüge die Angabe, daß bei einer Papierstärke von 0,094 mm und zweimaliger Lackierung bei 11 Messungen und Anwendung von sinusförmigem Wechselstrom ein mittlerer Durchschlagswert von 10,9 kV gefunden wurde. Die Dielektrizitätskonstante der bakelitelackierten Papiere ergibt einen Mittelwert von 3,78. Notwendig ist die vollkommene Überführung von Bakelite A in die Form C. Zum Vergleich sei angeführt, daß die Verschiebbarkeit von synthetischem Schellack auf Papier 4,6, von Naturschellack 4,8 beträgt.

9. Vorschriften über die Eigenschaften der isolierenden Lacke gibt es schon in verschiedenen Ländern. Kürzlich sind von der British Electrical and Allied Industries Research Association Richtlinien für die Untersuchung elektrisch isolierender Lacke herausgekommen. Untersucht wird das spez. Gewicht, die Viskosität, der Entflammungspunkt, der Brennpunkt, das Trocknen auf einer ebenen Fläche, das Trocknen in einer Spule, die elektrische Festigkeit, der Widerstand gegen Feuchtigkeit, die Wasserundurchlässigkeit, das Altern, die Angriffe durch

ofer, die Wirkung der Glimmentladungen, die Angriffe durch Gene-
rgas und die Beständigkeit farbiger Lacke.

Für die Bestimmung des spez. Gewichtes sollen die Lacke Tem-
aturen von 15—25° C besitzen, das spez. Gewicht ist dann für eine
nperatur von 20° C festzulegen.

Die Viskosität hat in absoluten Einheiten für 20° C zu erfolgen.

Der Entflammungspunkt soll nach Abel[1]) oder Pensky-Mar-
s[2]) festgestellt werden.

Der Brennpunkt ist zu ermitteln, wie es die Amerikanische Ge-
schaft für die Materialprüfungen A. S. T. M. Method D 92—21 T,
tative Standards 1922, vorschreibt.

Das Trocknen an ebenen Flächen wird entweder auf Japanpapier
r auf Kupferflächen vorgenommen, welche ungefähr 8 Zoll lang
l 6 Zoll breit sind. Sie werden in die Lacke getaucht, welche mit
n Verdünnungsmittel, das die liefernde Firma vorschreibt, versetzt
l. Sechs mit lufttrocknendem Lack hergestellte Proben werden bei
r Temperatur von 20—25° C getrocknet.

Sechs Proben werden in nicht verdünntem Lack 30 Minuten bei
efähr 20° C belassen und dann im Ofen bei 95—100° C getrocknet,
s der Lackhersteller keine höhere Temperatur vorschreibt. Inner-
b 1 Stunde ist der Luftinhalt des Ofens dreimal zu wechseln. Nach-
n die erste Schicht hart geworden ist, läßt man die Proben bei 20° C
ühlen und taucht sie ein zweites Mal in den Lack. Man hängt sie
gekehrt wie beim erstenmal zum Trocknen auf. Als trocken wird
Lack angesehen, wenn unter einer Belastung von 1 Pfund nach
Minute bei einer Temperatur von 15—25° C ein Whatman Filter von
Zoll Durchmesser nicht am Lack haftet.

Um das Trockenwerden des Lackes in einer Spule festzustellen,
den Spulen von 2 Zoll Durchmesser und 2 Zoll Länge benutzt, die
Draht von 0,036 Zoll Durchmesser und doppelter Baumwollumspin-
ng versehen sind. Die Windungstiefe soll ungefähr $^{1}/_{2}$ Zoll sein. Ein
l der Proben wird im heißen Vakuumofen getrocknet und sofort
Minuten lang in einen Lack getaucht von einer Dicke, welche der
kfabrikant vorschreibt. Nach dem Trocknen werden die Spulen
verschiedenen Temperaturen und verschieden langen Zeiten er-
rmt, indem man sich dabei auf die Vorschrift der Lieferanten stützt.
ch der Abkühlung wird festgestellt, wie die Härtung der Lagen vor
n gegangen und wie die Verbindung zwischen der Baumwolle, dem
k und dem Kupferdraht ausgefallen ist.

Die Prüfung der elektrischen Festigkeit wird an lackierten Japan-
pieren oder an lackierten Kupferplatten ausgeführt bei einer Tem-
atur von 20—25° C, ferner innerhalb 24 Stunden nach Trocknung
Lackes bei einer Temperatur von 90—95° C. Die Spannung soll mit
gefähr 250 V/min ansteigen, im übrigen werden die Bestimmungen
die Prüfung der elektrischen Festigkeit von festen Nichtleitern des

[1]) Holde, Untersuchung der Kohlenwasserstofföle und Fette S. 198.
lin, Julius Springer 1918.

Technical Publication L/S 2 zugrunde gelegt. Der Durchschlagswert, die Dicke der Probe, sowie die reine Lackdicke werden für jede Temperatur ermittelt.

Die Widerstandsfähigkeit gegenüber feuchten Einflüssen wird durch die Messung der elektrischen Durchschlagsfestigkeit ermittelt, nachdem die Probe drei Tage lang in einem Raum von mindestens 95 vH relativer Feuchtigkeit gelagert war.

Die Wasserdurchdringung ist ebenfalls elektrisch zu untersuchen. Auf der lackierten Kupferplatte wird ein Wachsring von $2^1/_2$ Zoll Durchmesser und $^1/_8$ Zoll Tiefe auf dem Lack angebracht, das Innere mit destilliertem Wasser gefüllt und 24 Stunden stehen gelassen. Dann wird das Wasser aufgesaugt und der Boden mit Fließpapier getrocknet. Im Wachsring werden Elektroden angebracht, ebenso außerhalb, wo kein Wasser gestanden hatte. Die Durchschlagswerte der Lackschicht unter dem Wasser und der nicht mit Wasser in Berührung gekommenen Orte werden verglichen.

Der Vorgang des Alterns wird so verfogt, daß lackierte Japanpapiere in einem Ofen bei 100—105° C getrocknet werden, und zwar 50, 100, 200, 300, 400 und 500 Stunden lang. Nach dem Erkalten ist bei 20° C die mechanische Festigkeit auf der Maschine zu ermitteln.

Die Prüfungen auf Säuren und Alkalität sind sehr umständlich und werden bei uns kaum in dieser Weise in Frage kommen, sie sollen deshalb nicht aufgeführt werden, da sie zweifellos einfacher möglich sind.

Für die Bestimmung, wie Lacke von Ölen angegriffen werden, legt man lackierte Papierproben in Öl von 115—120° C und prüft auf Schlammbildung. Auch fertige lackierte Baumwollumspinnungen werden auf diese Weise untersucht.

Angriffe des Lacks durch Kupfer, Glimmentladungen und Generatorgas sind noch nicht hinreichend aufgeklärt, um Prüfmethoden vorschlagen zu können.

10. Deutscherseits ist man jetzt auch damit beschäftigt, Lieferungsbedingungen für Isolierlacke auszuarbeiten, und zwar ist ein Unterausschuß im Zentralverband der Deutschen Elektrotechnischen Industrie seit 1921 damit beschäftigt. Der Kommission für Isolierstoffe wurde hierüber berichtet.

An den vorliegenden Arbeiten nahmen nicht nur Verbraucher von Lacken, sondern auch die Fabrikanten teil. Aus diesen Kreisen kam der Vorschlag, als Lackträger nicht die in der Wärme leicht zersetzliche Zellulose in Form von Papier und Baumwolle zu verwenden, sondern Lackfilme herzustellen, an denen die Prüfungen vorzunehmen sind. Mit dieser Aufgabe wurde das Staatliche Materialprüfungsamt in Dahlem betraut, welches zunächst gelbe ofentrocknende Lacke in den Bereich seiner Untersuchungen zog.

An und für sich ist ein Vorteil eines guten Lackes, daß er fest an seiner Unterlage haftet. Dieser Umstand erschwerte zunächst die Herstellung der Lackfilme sehr. Aber man erreichte dann auf folgende Weise gute Ergebnisse. Eine eiserne Platte wurde als Grundlage b-

raff gespannt. Das Papier war mehrmals mit einer 4 vH warmen ösung von Gelatine in Wasser bestrichen und dann bei 60° C getrock- ıt worden. Dann ist der zu prüfende Lack unter Verwendung eines ıreichmessers auf das Papier gleichmäßig aufgetragen und in einem ektrischen Ofen bei durchströmender Luft in genau wagerechter Lage trocknet. Bei sämtlichen Lacken wurde darauf hin gearbeitet, sie in eicher Stärke zu erhalten. Aber ihre Besonderheiten und ihr Gehalt ı Lösungsmitteln ergaben Filmdicken, welche ziemlich verschieden ıd und zwischen 40 und 120 μ ($\mu = {}^1/_{1000}$ mm) liegen. Getrocknet wurde rischen 90° und 100° C. In 50° C warmem Wasser wurde der Film von ım Gelatinepapier getrennt. Wurden Lacke untersucht, welche wenig ıhnbar sind, kann man durch Aufgießen auf talkumbestreute Glas- atten Filme aus ihnen erhalten. Das Abziehen vom Glas gelingt aber cht bei Filmen von großer Dehnbarkeit, der Einheitlichkeit halber ırde deshalb stets die Gelatinepapierunterlage benutzt.

Das Materialprüfungsamt ist mit den vorhandenen Filmen des- ılb noch nicht ganz zufrieden, weil das Papier quillt und dadurch un- eich starke Filme hervorruft. Es sollen deshalb mit glattsatinierten latinierten Papieren weitere Versuche angestellt werden.

Weiter liegt das Bestreben vor, nicht nur Filme aus Lack herzu- ellen, sondern auch Rundstäbe. Es würde auch möglich sein, den ıck auf Zinnfolie zu gießen und trocknen zu lassen, um später das Zinn it Quecksilber aufzunehmen. Diese Methode liefert völlig glatte Filme, ; aber für Betriebszwecke zu kostspielig.

Zunächst wurden mit den Filmen Zugversuche vorgenommen, um e Reißlast und die Reißdehnung zu ermitteln. Eingespannt wurden reifen von 15 mm Breite und 80 mm Länge, welche eine Prüflänge ın 50 mm gestatten.

Die Messungen wurden gleich nach der Anfertigung des Films ırgenommen, aber auch bei Lagerung in normaler Temperatur nach 2, 10, 20, 60 und 120 Tagen nach der Herstellung, ferner nach 1, 2, 7 ıd 14tägiger Lagerung bei 90—100° C. Die Versuchsergebnisse an Lacksorten sind graphisch aufgenommen und in der ETZ 1925 396 veröffentlicht. Es ergibt sich, daß die Lacke in ihrem Verhalten ırke Unterschiede zeigen, daß aber diejenigen als die besten angesehen ırden können, welche am dehnbarsten sind, und zwar sowohl bei nor- ıler wie bei erhöhter Temperatur.

Wird der Lack spröde, steigt die mechanische Festigkeit. Eine setzmäßige Beziehung zwischen Reißfestigkeit und Reißdehnung ließ ıh nicht feststellen. Das Zahlenmaterial gibt völlig unregelmäßige erte.

Um die Lackfilme auf ihre mechanisch-technologischen Eigen- ıaften zu prüfen, wurden zur Bestimmung der Stoßelastizität Kugel- lproben vorgenommen. Außerdem fanden Kugeldruckproben statt, ı einigermaßen ein Bild über den Widerstand zu erhalten, welchen e Lackschicht der Druckbelastung entgegensetzt.

Für die Kugelfallproben wurden Filmstreifen von 15 mm Breite

platte mit Holzklammern festgeklemmt. In ihrer Mitte besitzt die Auflageplatte eine kreisförmige Öffnung von 15 mm Durchmesser, der darüber befindliche Film liegt also frei in der Luft. Läßt man aus 170 mm Höhe eine Stahlkugel von 2,5 mm Durchmesser fallen, so fliegt die Kugel wieder zurück. Diesen Betrag mißt man und stellt ihn in Vergleich zur Fallhöhe, welche als Einheit betrachtet wurde. Es scheint, als ob die Reißfestigkeiten in Abhängigkeit von diesen Werten stehen. Aber das Untersuchungsmaterial langt noch nicht aus, um hier bestimmte Schlüsse auszusprechen.

Für die Kugeldruckprobe wurde eine mit 10 kg belastete Stahlkugel von 2,5 mm Durchmesser auf die Filmsubstanz gedrückt. Unterschiede, ob der Film 120 Tage bei normaler Temperatur oder 14 Tage bei 90—100° C gelagert hatte, konnten nicht beobachtet werden. Dagegen stellt sich heraus, daß teilweise die Eindruckstelle strahlenförmige Risse zeigt, in anderen Fällen aber glatt geblieben ist. Sichere Erklärungen, wie diese Erscheinungen mit den Materialeigenschaften zusammenhängen, sind hier auch nicht möglich, da einstweilen zu wenig Messungen angestellt wurden.

Die Untersuchungen werden fortgesetzt. Ferner sollen die Beziehungen zwischen Viskosität und Kapillarität geprüft werden, ebenso die Ölbeständigkeit und die Widerstandsfähigkeit gegen Feuchtigkeit, Säuren und Alkalien. Die Zähflüssigkeit nach Engler zu messen ist deshalb nicht angängig, weil die Flüchtigkeit der Lösungsmittel keine genauen Werte zuläßt.

Dagegen erscheint die Feststellung der Oberflächenspannung nach der Methode von Wilhelmy[1]) brauchbar.

Leider mußte zunächst die Bestimmung der Eindrucktiefen des flüssigen Lackes unterbleiben, da das Prüfmaterial ausgegangen war.

Die Kommission zur Ausarbeitung von Prüfvorschriften ist aber inzwischen weiter tätig, um sowohl die mechanisch-technologischen als auch die elektrischen Untersuchungen zu Ende zu führen.

11. Zweckmäßig ist, daß der Fabrikant elektrisch isolierender Lacke die Prüfung seiner Lacke nicht nur von den Ämtern vornehmen läßt, sondern dies auch laufend selbst tut. Bei der Beobachtung erhält er wichtige Fingerzeige, wie eine Verbesserung seines Lackes durch Unterbindung der elektrolytischen und elektroosmotischen Erscheinungen stattfinden kann.

XIX. Elektrische Ausgußmassen.

Je mehr die Verlegung von Hochspannungskabeln fortschreitet, um so wichtiger werden die Vergußmassen, in welchen die Kabelend- und Abzweigarmaturen gelagert sind.

1. Verschiedene Angaben hierüber wurden schon im XV. Kapitel über diese Massen gemacht. Für eine Beurteilung des Verhaltens die-

: Stoffe unter hohem Potentialgefälle hat man sich ihre chemische
ısammensetzung vor Augen zu führen. Besonders nach dem Schmel-
ı und dem erfolgten Übergang in den festgewordenen Zustand ist
› Masse nicht einheitlich, weil die Bestandteile verschieden flüchtig
ıd und verschiedene Stockpunkte besitzen. Infolgedessen treten
›nzentrationsänderungen, Lösungs- und Kristallisationserscheinungen
f. Diese Ungleichmäßigkeiten im Stoff können bei den Ausgußmassen
ls stark hervortreten, teils gering sein.

Im elektrischen Felde machen sich die Inhomogenitäten mit An-
ıchsen des Spannungsgradienten immer stärker bemerkbar. Es schei-
ı sich die nichtleitenden Bestandteile und Einschlüsse mit verschie-
ıen Dielektrizitätskonstanten, Leitfähigkeiten und elektrischen
stigkeiten hintereinander, so daß die Spannungsbelastung pro Zenti-
›ter ungleichmäßig wird und chemische Zersetzungen, d. h. Strom-
ınderungen, eintreten.

Bei gewöhnlicher Temperatur, bei kurzer Einwirkung des elek-
ıschen Feldes und nicht zu hoher spezifischer Belastung durch das-
be ergeben sich hohe Durchschlagsfestigkeiten bei einer Entfernung
: Elektroden von 2—3 mm. Eine derartige Verwendung der Aus-
ßmassen findet in der Praxis meistens nicht statt, sondern die span-
ıgsführenden Teile liegen erheblich weiter auseinander. Die Möglich-
.t von Lagerungen fehlerhafter inhomogener Stoffteile zwischen den
itern ist dann viel größer.

2. Eine wesentliche Rolle bei den Ausgußmassen spielt der Schwund,
lcher mit der Temperatur zunimmt und erhebliche Werte betragen
ın. So macht dieser bei Paraffin und einer Temperatursteigerung
ı 20° auf 60° C über 10 vH aus. Werden dickflüssige Stoffe den
ınflüssigen zugesetzt, so erhöht sich der Schwund der Mischung.
ımelzt man ein zweites Mal, so kann man im allgemeinen feststellen,
3 der Prozentsatz des Schwindens wieder größer geworden ist, was
: den Gehalt an flüchtigen Bestandteilen Schlüsse zuläßt.

U. Retzow hat in ETZ 1922 Heft 7 geprüft, wie ...
.tiges Öl zwischen 20° u...

Gehalt an Öl vH:	0	10	30	50	70	100
Schwund vH:	8,4	3,9	3,0	2,7	2,1	1,2

Auch die dielektrischen Verluste steigen infolge der ungleichmäßigen
ısammensetzung steil an.

3. Dringend notwendig ist es, die Ausgußmassen einer chemischen
alyse zu unterziehen. Wir haben große Gruppen von schmelzbaren
lierenden Körpern, welche hier in Betracht kommen können, wie
ıile und rezente Harze, künstliche und natürliche Asphalte und
ıstige Kohlenwasserstoffe. Elektrisch sind die fossilen Asphalte gut.
er ihre Schmelzpunkte liegen teilweise so hoch, daß dies mechanisch
ädlich ist. Von den Destillaten sind jetzt die höher molekularen
ırolpeche beachtenswert, welche sich durch einen geringen Bestand-
an koksartigen Produkten auszeichnen. Ausgußmassen müssen frei

lichst dieselbe gleichmäßige Beschaffenheit und keinen zu großen Schwund besitzen, sie dürfen weder Feuchtigkeit noch Luft, die dielektrisch schädlichsten Stoffe, einschließen.

4. Nach Untersuchungen von H. W. L. Brückman-Delft ist eine Mischung von natürlichem Asphalt und Petrolpech zum Ausgießen von Kabelmuffeln geeignet.

Die Holländer haben sich auch schon mit der Normalisierung der Ausgußmassen beschäftigt. Um die Sprödigkeit festzustellen, gießen sie die Massen auf ein Blech. Wenn es gebogen wird, darf das Kompound nicht abspringen.

Die Masse soll in der Wärme dünnflüssig sein und beim Erstarren nicht spröde oder rissig werden.

Der Erweichungspunkt wird nach Krämer-Sarnow[1]) und die Viskosität nach Engler bestimmt. Im ersteren Falle hat man eine Grenztemperatur von 40° C für richtig erachtet, Im zweiten Falle soll die Ausgußmasse bei 150° C durch eine 5 mm Ausflußöffnung höchstens 100 cm³ in 175 Sek. durchlassen.

Das Schwindmaß wird durch Ausfüllung der Schwindräume mit Quecksilber ermittelt. Zwischen 15°—150° C darf sich das Kompound nicht mehr wie 5—10 vH eingeengt haben.

Nach fünfstündiger Erwärmung auf 200° C sind die Verdampfverluste zu messen.

Die Durchschlagsfestigkeit hat 150 kV/cm zu betragen, eine Forderung, welche meistens leicht zu erfüllen ist.

5. Einen besonders für die Messung der dielektrischen Festigkeit von Ausgußmassen geeigneten Prüfapparat schlägt in ETZ 1924, S. 513 R. Dieterle vor, er benutzt als Elektroden eine Kugel von 25 mm Radius und stellt sie einer Kugelschale von 27 mm innerem Radius gegenüber. Da das Vergießen Mängel mit sich bringt, schlägt er vor, daß die Entfernung der Elektroden nicht unter 2 mm beträgt. Das Gefäß zur Aufnahme der Prüfmasse ist vor dem Eingießen anzuwärmen, damit die an den Wänden kondensierte Feuchtigkeit vorher vertrieben wird.

6. Von deutscher Seite arbeitet schon seit längerer Zeit eine Unterkommission des VDE Prüfvorschriften für Vergußmassen aus. Die Veröffentlichung des ersten Entwurfs wird noch in diesem Jahre erfolgen.

Hoffentlich sind recht genaue Angaben über die Feststellung der chemischen Zusammensetzung dieser Art elektrischer Nichtleiter darin enthalten.

---

[1]) Holde, 1918, S. 369. Diejenige Temperatur, bei welcher 5 g Hg über der Prüfmasse diese aus einem Röhrchen von 6—7 mm l. Durchmesser herausdrücken.

XX. Ein deutscher Entwurf zur Prüfung imprägnierter und nichtimprägnierter faseriger elektrischer Isolierstoffe.

Mit Prüfmethoden faseriger Isolierstoffe der Elektrotechnik hat man sich in den Kulturländern schon seit einiger Zeit befaßt.

Die Preßlinge, welche nach den früheren Ausführungen als isolierende Formstücke u. dgl. verarbeitet werden und meistens unter Anwendung von Druck entstehen, gehören auch zu den aus Fasern hergestellten Nichtleitern, weil sie ihre mechanischen Vorzüge durch die Fasern erhalten. Die Feststellung der Eigenschaften dieser Art von Körpern geschieht nach den Vorschriften, wie sie auf Seite 35 bis 47 angegeben sind.

Dagegen sollen im folgenden die Isolierstoffe in ihrer Form als Faser, Faden, Garn, Papier und Gewebe geprüft werden, und zwar im nichtimprägnierten wie im imprägnierten Zustand. Die zuerst genannte Untersuchung nimmt man meistens deshalb vor, um sich über die Güte der Rohstoffe zu orientieren, die Prüfung im imprägnierten Zustand ist für die praktische Verarbeitung als elektrischer Nichtleiter ausschlaggebend.

Vom VDE liegt ein in der ETZ 1925, S. 204 veröffentlichter Entwurf der Kommission für Isolierstoffe vor, welcher zunächst die Prüfung der mechanisch-technologischen Eigenschaften vorsieht. Die Richtlinien für die Untersuchung der elektrischen Eigenschaften sind noch nicht bekanntgegeben. Sie sollen sich an die auf Seite 38 abgedruckten Bestimmungen anlegen und bedürfen nur einer sinngemäßen Ergänzung.

Entwurf.

Prüfung nichtimprägnierter und imprägnierter faseriger elektrischer Isolierstoffe.

Faserige Isolierstoffe sind: Zellstoff, Papier, Baumwolle, Ramie, Jute, Hanf, Leinen, Seide, Tussahseide und Kunstseide.

Mechanisch-technologische Prüfung.

I. Die Prüfung erfolgt a) im ersten Verarbeitungszustand als Garn oder Zwirn, bei Papier im Bogen; b) im zweiten Verarbeitungszustand als Gewebe, bei Papier als Garn oder Band.

Die Prüfung erfolgt in gleicher Weise im natürlichen Zustand wie nach der Imprägnierung mit isolierenden Mitteln.

II. Die mechanisch-technologische Prüfung besteht aus folgenden Bestimmungen:

1. Bruchfestigkeit und Reißlänge,
2. Bruchdehnung,
3. Ungleichmäßigkeit des Materials in Beziehung auf 1 und 2,
4. Wärmefestigkeit,
5. Empfindlichkeit gegen Wasser,
6. Empfindlichkeit gegen Öl,
7. Prüfung auf Gehalt an Säuren und Alkalien.

III. Die Prüfung erfolgt nach den im Abschnitt IV—VII festgesetzten Methoden.

IV. Die Bruchfestigkeit wird mit dem Schopperschen Zerreißapparat bestimmt. Die freie Einspannlänge beträgt für Papier 18 cm bei

:eie Einspannlänge 10 cm, ebenso für Bänder. Bänder werden immer in .er ganzen Breite eingespannt. Bei breiten Geweben ist die Streifenbreite cm. Es ist dabei zu beachten, daß das Gewebe fadengerade geschnitten zw. ausgefranst ist.

Die Bruchdehnung wird ebenfalls mit dem Schopperschen Apparat ꞓstgestellt. Sie ist in Prozenten anzugeben.

Die Werte der Bruchfestigkeit und Bruchdehnung werden bei Garnen nd Bändern aus 10 Einzelwerten, bei Papieren und breiten Geweben aus in der Längs- und 5 in der Querrichtung gemessenen Werten als Mittel-'erte berechnet.

Aus der Differenz des Mittelwertes und des Untermittelwertes (Mittel us den unter dem Gesamtmittel liegenden Werten) ergibt sich die Unleichmäßigkeit des Materials; vervielfältigt mit 100 in Prozenten des [ittelwertes.

Die Reißlänge berechnet man nach der Formel: $R = P \cdot N$. Hierbei edeutet R die Reißlänge in km, P die Bruchdehnung in kg und N die ıetrische Feinheitsnummer (die metrische Feinheitsnummer gibt die Anahl Kilometer an, die auf 1 kg gehen). Der Wert für die metrische Nummer ißt sich bei Papier und Gewebe aus dem Quadratmeter-Gramm-Gewicht G rmitteln (z. B. $N = \frac{50}{G}$ für 2 cm breite Streifen und $N = \frac{200}{3 \cdot G}$ für 1,5 cm reite Streifen).

V. Die Wärmefestigkeit wird bestimmt, indem Proben des Materials Stunden Temperaturen von 70° C, 90°, 110° und 130° ausgesetzt werden, ıd die Bruchfestigkeit, wie oben, ermittelt wird. Die Wärmefestigkeit bei ꞓn vorher angegebenen Temperaturen wird ausgedrückt in Prozenten, ꞓzogen auf die ohne Wärmewirkung erhaltenen Werte.

VI. Bestimmung des Verhaltens gegen Wasser. Das Material wird 4 Stunden im Wasser gelagert und die Veränderung der Bruchfestigkeit ıd Bruchdehnung in Prozenten festgestellt. Die Wasseraufnahme ist in rozenten anzugeben. Sie wird bestimmt, indem man das lufttrocken geogene Material 24 Stunden in Wasser einlegt, herausnimmt, 10 min frei ingen läßt und dann wägt.

VII. Bestimmung des Verhaltens in Öl. Das Material wird 24 Stunden . Öl bei Zimmertemperatur gelagert und die Veränderung der Bruchstigkeit und Bruchdehnung in Prozenten festgestellt. Das Verhalten in l bei Temperaturen von 70°, 90°, 110° und 130° C wird in gleicher Weise mittelt.

Materialien, die bei Zimmertemperatur oder unter Erwärmung unter l dem elektrischen Feld ausgesetzt sind, werden geprüft, indem ihre Bruchstigkeit und Bruchdehnung mit den Anfangswerten verglichen werden. ie Materialien werden Stunden dem elektrischen Feld ausgesetzt.

Der vorstehende Entwurf hat erfreulicherweise erhebliche Beıhtung gefunden. Außer anderen Fachleuten und dem Verfasser ꞓhmen auch staatliche Ämter und industrielle Unternehmungen dazu ꞓellung. Es sind eine ganze Reihe bemerkenswerter Vorschläge über ne zweckmäßige Abänderung und Vervollständigung des Entwurfes ꞓmacht, die nachstehend wiedergegeben und zur Aussprache gestellt erden.

1. So wird darauf hingewiesen, daß vorteilhaft für die unter IV ɔrgesehene Bezeichnung der Reißlänge noch bei II die Gewichtsꞓstimmung für die Längeneinheiten bei Garnen und Bändern und für e Flächeneinheit bei Geweben eingefügt wird. Ferner soll man in den ichtlinien überall „Zugfestigkeit“ statt „Bruchfestigkeit“ schreiben.

2. Notwendig erscheint, darauf aufmerksam zu machen, daß die

chtigkeit, z. B. bei 65 vH, auszuführen sind und daß die Materialien vor Prüfung mehrere Stunden in einem Raum mit dieser Feuchtigkeit ern.

3. Die freie Einspannlänge von 10 cm für Gespinnste ist zu klein, onders für Bastfasern. Wenigstens 20 cm sind vorzuschreiben. Dasœ gilt für Gewebe. Für diese dürfte mit Rücksicht auf deren Unichmäßigkeit auch eine Streifenbreite von 3 cm zweckmäßiger sein eine solche von 2 cm. Die Streifen sind fadengerade und 1 cm breiter schneiden und die Längsfaden an jeder Streifenbreite auf 5 mm ite auszufransen, um das Heraustreten der Randfäden beim Zugsuch zu vermeiden bzw. zu erschweren.

4. Zur Ermittelung der Ungleichmäßigkeit von Garnen reichen Einzelversuche bei weitem nicht aus, 20 sind mindestens vorzumen.

5. Die Ungleichmäßigkeit wird besser ausgedrückt durch die mitt- Abweichung des Einzelversuchs vom Mittel. Wie wenig geeignet „Untermittelwert" ist, dafür dient das nachstehende Beispiel:

11		11,2	
11		11,1	
11		11,1	
11		11,1	
10		9,9	9,9
10		9,9	9,9
10		9,9	9,9
10		9,9	9,9
10		9,9	9,9
6	6	6,0	6,0
10,0	6 : 1 = 6,0	10,0	55,5 : 6 = 9,25
10,0 − 6,0	= 4,0	10,0 − 9,25	= 0,75
4,0 : 10,0	= 40 vH	0,75 : 10	= 7,5 vH

Die beiden praktisch gleichwertigen Versuchsreihen haben eine ıgleichmäßigkeit" einmal von 40 vH, das andere Mal von 7,5 vH. die Summe der Fehlerquadrate für die Berechnung umständlich e, ist der beste Streuungsmaßstab die Abweichung des Größt- und instwertes vom Mittelwert. Die Berechnung kann unter Zuhilfeme des in der Praxis noch vielfach benutzten Maßstabes „Mittel us Untermittel" erfolgen, wenn gleichzeitig das Verhältnis der Zahl Untermittelwerte zur Gesamtversuchszahl berücksichtigt wird. entsprechende Ansatz ist: Ungleichmäßigkeit in Prozenten des tels $= \frac{(\text{Mittel minus Untermittel}) \cdot 100 \cdot 2 \cdot n}{\text{Mittel} \cdot z}$, wo n die Zahl der er dem Mittel liegenden Werte und z die Gesamtversuchszahl angibt.

6. Die Angabe der Reißlänge von Papier in Kilometern ist nicht delsüblich. Sie erfolgt vielmehr seit Jahrzehnten nur noch in Meı und berechnet sich nach der Formel: $x = \frac{0{,}18}{G} \cdot p \cdot 1000$, worin e Reißlänge in Metern, G das mittlere Gewicht der zerrissenen Streivon 18 cm freier Einspannlänge in Gramm und p die mittlere Re

7. Unter V wäre noch anzugeben, ob das Material unmittelbar nach der Trocknung auf Zugfestigkeit geprüft werden soll oder erst, nachdem es sich durch mehrstündiges Lagern im Versuchsraum der normalen Feuchtigkeit wieder angepaßt hat. Im ersten Falle ist zu bedenken, daß sich der Zustand der Proben gleich nach deren Entnahme aus dem Trockenofen durch Feuchtigkeitsaufnahme schnell ändert.

8. Um die Prüfbestimmungen als Lieferungsvorschriften beim Bezug von faserigen Isolierstoffen nutzen zu können, erscheint die Angabe des Geltungsbereiches notwendig. Man könnte auch Zellulose, Flachs, Nesselfaser und Asbest unter den zu prüfenden Stoffen aufführen.

9. Zweckmäßig sind noch Angaben über Dicke, Faserlänge, Garnnummer, Fadenzahl, sowie Flächengewicht, Höchstbelastung, Falzzahl und Feuchtigkeitsgehalt. Die mikroskopische und chemische Prüfung soll sich auch erstrecken auf die Faserart und die Beimengung. Für die Beurteilung der elektrischen Eigenschaften sind die Durchschlagsfestigkeit und das Verhalten im elektrischen Felde festzustellen. An geschichteten Isolierstoffen können Schäden durch dielektrische Verluste entstehen, wenn eine zu lange Zeit hindurch mit zu hoher Spannung geprüft wird.

10. Bei dem aus 10 Einzelwerten von Höchstbelastung, Reißlänge, Bruchdehnung, Falzzahl, Verhalten nach Erwärmung und elektrischer Durchschlagsfestigkeit gewonnenen Mittel sind noch der gefundene Größt- und Kleinstwert hinzuzufügen.

11. Beobachtet wird die Höchstbelastung in Kilogramm und die Bruchdehnung, welche das Verhältnis der Verlängerung zur Versuchslänge darstellt, in Hundertteilen. Aus der Höchstbelastung $= P$ und der metrischen Feinheitsnummer $=$ Nm/g $=$ km/kg bzw. aus dem Flächengewicht G in g/m² wird die Reißlänge R in km nach der Formel berechnet: $R = P \cdot N = P/G$. Die Werte längs und quer sind getrennt anzugeben.

12. Der Feuchtigkeitsgehalt ist im Konditionierapparat[1]) zu bestimmen.

13. Zur Kennzeichnung der Wasseraufnahme wird das Material 24 Stunden lang im Exsikkator mit Chlorkalziumbeigabe gelagert, gewogen, weitere 24 Stunden lang im Wasser gelagert, herausgenommen, während 10 Minuten frei hängen gelassen, wobei offen sichtbare Wasserteilchen abzunehmen sind und dann wiederum gewogen. Der Gewichtsunterschied im Verhältnis zum Trockengewicht wird als Wasseraufnahme angegeben.

14. Um den Einfluß des Wassers auf die Festigkeitseigenschaften festzustellen, werden die Proben 24 Stunden in Wasser gelagert und

---

[1]) Vorrichtung zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgehalts durch vollständiges Austrocknen in Apparaten, welche mit einer Wage verbunden sind. Bei Seide erwärmt man auf 105°—120° C, bei allen übrigen Stoffen auf 105°—110° C. Die Austrocknung gilt als vollständig, wenn die Probe in

ın den Zugversuchen unterworfen. Die gegenüber der Höchst-astung, Reißlänge und Bruchdehnung eingetretene Änderung wird Verhältnis zu den ursprünglichen Mittelwerten angegeben.

15. Der Einfluß vom Mineralöl auf die Festigkeitseigenschaften 'd in der Weise ermittelt, daß das Material 24 Stunden in Trans-matorenöl bei Zimmertemperatur gelagert und darauf dem Zug-'such unterworfen wird. Die gegenüber der Höchstbelastung, der ißlänge und der Druckdehnung eingetretene Änderung wird im Ver-tnis zu den ursprünglichen Mittelwerten angegeben. Die Lagerung ın auch bei 70°, 90°, 110° und 130° C durchgeführt werden.

16. Die Unterscheidung von Natron- und Sulfitzellulose durch eine croskopische Beobachtung ist besonders wichtig.

17. Die organischen und anorganischen Beimengungen, im letzteren l deren Aschen, sind festzustellen.

18. Die Prüfung auf Gehalt an Säuren und Alkalien wird an einem sserigen Auszug des Materiales unter Benutzung von Phenolphthalein geführt.

19. Zur Messung der elektrischen Durchschlagsfestigkeit wird unter er Belastung von 1 kg zwischen Plattenelektroden von 5 cm Durch-sser und abgerundeten Kanten langsam ansteigende Wechselstrom-nnung angelegt, bis Durchschlag erfolgt. Bei nichtimprägniertem terial kann bis 440 V auch Gleichstromspannung verwendet werden. Durchschlagsfestigkeit wird als Mittelwert der effektiven Durch-lagsspannung aus 10 Durchschlägen in Volt für die betreffende terialdicke angegeben.

20. Es empfiehlt sich, die vom NDI genormten Benennungen zu rnehmen, also (vgl. NDI 1602) Höchstbelastung statt Bruchfestig-t und Versuchslänge statt Einspannlänge. Die Beschränkung auf die ma Schopper ist für Zerreißmaschinen nicht begründet, dagegen Falzmaschinen.

21. Der Ausdruck „Wärmefestigkeit" erscheint nicht geeignet, den bsichtigten Wert zu decken.

22. Die „Lufttrockenheit" muß näher definiert werden.

23. Das Verhalten gegen Säuredämpfe ist zu prüfen, insbesondere amt der Einfluß von Schwefelsäure in Frage. Bei besonderen For-ungen, wie z. B. Einrichtungen von Säurefabriken oder Fabriken, ätzende Gase wie Chlor- und Nitroverbindungen und andere stark-kende Reagenzien auftreten, sind die Ermittelungen den jeweiligen 'orderungen gemäß durchzuführen. Man soll bei derartigen Unter-hungen stets den Einfluß der Zeit, der Temperatur und der Säure-zentration berücksichtigen. Die Beobachtung hat sich zu erstrecken die äußere Veränderung, die Veränderung des Gewichtes in Prozen-, die Veränderung des Isolationswiderstandes und die Veränderung Festigkeit.

24. Die Faser- oder Walzrichtung ist bei inhomogenem Material gfältig zu untersuchen. Die mikroskopische Beobachtung gibt dar-r Aufschluß in welchem Zustande sich die Fasern befinden und in

ıätzung des mikroskopischen Bildes im Vergleich mit Mischungen n bekannter Zusammensetzung beurteilen läßt. Deshalb wird eine kroskopische Untersuchung gefordert[1]).

25. Es ist auch die Seewasserbeständigkeit zu ermitteln. Obwohl sich hier nur um spezielle Fälle handelt, wird diese Prüfung doch als twendig angesehen und bezieht sich wieder auf die äußere Verände- ıg, die Veränderung des Gewichtes in Hundertteilen, die Veränderung s Isolationswiderstandes und die Veränderung der Festigkeit. Es mmen hier hauptsächlich die Isolationen für die Antennen der draht- ıen Telegraphie, ferner jegliche Isoliermaterialien in Frage, welche m direkten Einfluß des Seewassers ausgesetzt sind. Man soll zwei rschiedene Konzentrationen von Seewasser anwenden, einprozentiges ıd dreiprozentiges, und den Einfluß der Zeit und der Temperatur rücksichtigen.

26. Die Frostbeständigkeit ist ebenfalls festzustellen. Die An- :derung an die Temperaturbeständigkeit sind bei dem Isoliermaterial ßerordentlich groß, mag es sich um Schwachstrom-, Starkstrom-, ıohspannungs- oder Hochfrequenzapparate handeln. Die Prüfungen f Frostbeständigkeit sollen das Verhalten der Materialien nach ab- ıchselndem Einfrieren und Wiederauftauen feststellen. Hierbei issen die äußeren Veränderungen beobachtet werden. Verdickungen, hrumpfungen und Abblättern sind zu prüfen. Bei allen diesen Ver- ɔhen sind mikroskopische Lichtbilderaufnahmen erwünscht, um dau- ıd besonders interessante Vorkommnisse festzuhalten.

27. Die Untersuchung der Falzbiegefestigkeit kommt in Frage bei der ststellung der mechanischen Güte von biegsamen Isolierstoffen wie pierbändern, Leinen- und Seidenbändern, überhaupt der unlackierten d lackierten Stoffe, und zwar mit dem Schopperschen Apparat. ährend des Untersuchungsvorganges wird die Probe bei jedem Gang s Schiebers zweimal in entgegengesetzter Richtung gefalzt. Die Zahl r bis zum Reißen ausgeübten Falzungen wird durch ein Zählwerk tgestellt, welches gleichzeitig den Antriebsstromkreis unterbricht, so- ld die Probe zerstört ist. Die Falzzahlen sind Maßstäbe für den ıtegrad der Materialien.

28. Für die Prüfung von Asbestfaser ist die Aschebestimmung chtig.

29. Der Abschnitt I des Entwurfes könnte den Eindruck erwecken, ob jeder Isolierstoff in den verschiedenen Verarbeitungszuständen prüft werden müßte, während die Unterteilung nur als eine Erläute- ıg zu der vorhergehenden Aufzählung aufzufassen ist. Es sind her die Worte: „Die Prüfung erfolgt“ zweckmäßig wegzulassen und für zu setzen: „Die Isolierstoffe werden im allgemeinen nur in dem rarbeitungszustand der Anlieferung untersucht.“

[1]) Nach Entfernung der Leimungs- und Füllstoffe mit 1prozentiger tronlauge unter Erhitzung wird nach dem Auswaschen die Faser zu em Brei geschüttelt und unter dem Mikroskop bei Benutzung von fär- ıden Reagentien optisch analysiert. Siehe auch Dr. Foulon. Die mikro-

30. Empfohlen werden noch Feststellungen über die Empfindlich- nichtimprägnierter und imprägnierter Faserstoffe gegen Öllack mageren Lack sowie gegen Glimmentladungen.

31. Die Untersuchungen über die Ungleichmäßigkeit des Materials außer auf die Festigkeitseigenschaften noch auf Aussehen und :enänderung auszudehnen.

32. Als Elektroden zur Messung der Durchschlagsfestigkeit wer- kreisrunde ebene Kupferscheiben von 10 mm Durchmesser mit ab- ndeten Kanten bei einem Krümmungsradius = 1 mm vorgeschla- Die Materialstärke an der durchschlagenen Stelle ist zweckmäßig ı ermitteln, daß man die eine Elektrode wie eine Mikrometerschraube)ildet.

Den Anregungen zu einer Verbesserung und Vervollständigung des wurfes ist im Vorstehenden hinreichend Raum gegeben, die Unter- mission für elektrische Faserstoffe wird sich eingehend mit diesen :enswerten Vorschlägen befassen, sie nimmt auch gern weitere lungnahme dazu entgegen.

I. Ein ausländischer Entwurf von Lieferungsbedingungen beim Bezug von isolierenden Geweben.

Von französischer Seite ist vor einiger Zeit ein sehr beachtens- er Entwurf veröffentlicht, welcher die Lieferungsbedingungen beim ıg elektrisch isolierender Gewebe behandelt. Zugleich sind hierzu ärungen herausgekommen. Da es sich um Materialfragen handelt, denen die Betriebssicherheit der elektrischen Anlagen in erheb- m Maße abhängt, sollen aus den umfangreichen Berichten einige :üge wiedergegeben werden.

1. Die französischen Arbeiten bemerken, daß die isolierenden Ge- › auch ungeübten Arbeitskräften zuzuführen sind und sie daher ›rstandsfähigkeit gegen Druck, Zug, Abscherung und Falzen be- n müssen, ferner eine leichte Bearbeitung, auch beim Wickeln, daß Löcher entstehen und Erwärmung Schäden verursachen ..

2. Besitzt das Gewebe nicht genügend Nachgiebigkeit, entstehen efüllte Räume. Bei Hochspannung liegt dann die Gefahr der Bil- ; von Ozon unter Oxydation benachbarter Isolationen vor. Bei den sformatoren, welche in Öl liegen, wird ein Durchschlag herbei- ırt, wenn Lufteinschlüsse im Isoliermaterial zurückgeblieben sind. ird dadurch die Eigenschaft der Isolierung herabgedrückt. Die nwart von Luft verringert auch die Abkühlung.

Die Eigenschaften der Gewebe werden im besonderen durch die rische Belastung beeinflußt, daher ist eine Prüfung wichtig.

3. Man vermeidet zwar, elektrische Maschinen feuchten Ein- ıngen auszusetzen. Aber es läßt sich nicht verhindern, daß sich in hinen und Transformatoren Wasserdampf kondensiert. Daher ist

der Umgebung Feuchtigkeit aufnehmen können, und ob dadurch eine Gefahr für den praktischen Betrieb zu befürchten ist.

Vor Erwärmung lassen sich elektrische Maschinen und Apparate nicht schützen. Der Einfluß der Wärme auf die Nichtleiter ist daher festzustellen.

4. Luft kann in veschiedener Weise auf die elektrischen Baustoffe wirken, je nachdem, ob sie sich in natürlichem Zustand befindet oder durch elektrische Ausstrahlungen ozonisiert ist. Im letzten Fall besitzt sie dann eine starke oxydierende Kraft, welche die Gewebe in einen mechanisch minderwertigen Zustand versetzt und sie unfähig macht, die von ihnen erwarteten Eigenschaften zu bewahren. Die Zerstörungen sind bei steigenden Temperaturen noch erheblich größer.

5. Vom dielektrischen Standpunkte aus sollen solche Faserstoffe herausgesucht werden, welche einen großen Widerstand gegen Durchschlag oder Oberflächenleitung besitzen, einen großen Ohmschen Widerstand haben und eine kleine Dielektrizitätskonstante.

6. Bei Vornahme von Festigkeitsprüfungen beruht eine Hauptschwierigkeit in der Herstellung von Backen, welche das Gewebe gut zusammendrücken. Es darf keinen Schaden leiden und soll sich leicht in die Backen einlegen, damit nicht nur der Rand allein die Zugspannung aushält.

Diese Bedingungen erfüllt der von Boreau 1913 gebaute Apparat, welcher Backen mit wellenförmigen Oberflächen besitzt, bei denen die Wellenformen sich schachtelförmig eine in die andere einfügen. Ein reichliches Stück vor dem Austritt der Versuchsprobe aus den Backen ist glatt zu lassen. Zweckmäßig sind Backen aus Kautschuk oder Kupfer. Die Probe soll für den Zugversuch vorteilhaft 20 cm Einspannlänge aufweisen, 3 cm breit und parallel geschnitten sein im Sinne des Gewebes. Die Fäden haben von einem äußersten Ende bis zum anderen zu laufen. Wenn für gewisse Bänder die Breite geringer ist wie 3 cm, oder wenn man nicht in der Breite des Bandes schneiden will, soll das Ergebnis auf 3 cm umgerechnet werden. Aus dem Mittel von fünf Versuchen, auf Quadratzentimeter umgerechnet, soll das Ergebnis ermittelt werden.

7. Zugleich mit der Reißfestigkeit ist die Verlängerung der Probe beim Reißen zu ermitteln. Gegebenenfalls sollen auf der Probe zwei parallele Striche im Abstand von 20 cm im Sinne der Zugrichtung markiert werden. Man vergleicht nach dem Bruch die Punkte, welche benachbart waren und mißt die Zunahme der Entfernung. Diese Zunahme, auf 20 cm bezogen, bestimmt die Verlängerung des Versuchsgegenstandes. Man nimmt wieder das Mittel aus fünf Versuchen.

8. Auch ist ein elektrischer Durchschlagsversuch unter mechanischer Spannung vorzunehmen. Zum mindesten soll man diese Prüfung bei den imprägnierten Geweben anstellen, weil die Gewebe im allgemeinen im Betrieb auch gespannt sind. Zu diesem Zwecke belastet man

t, drückt als Elektroden nachgiebige runde Blechscheiben mit elasti-
en Zwischenlagen gegen die Gewebeprobe und nimmt aus 10 Durch-
lagsversuchen das Mittel. Man soll das Gewebe auch einem gleich-
ßigen mechanischen Zug von 80 vH der Spannungsgrenze aus-
zen und dabei wieder elektrisch prüfen. Die Erhöhung der Prüf-
nnung hat allmählich zu erfolgen, ungefähr 200 V/s. Man zeichnet
ın eine Kurve der Durchschlagsspannung als Funktion der Druck-
astung auf.

9. Mit einigen Änderungen der Apparatur läßt sich auch der Wider-
ad gegen Abscherung messen. Beim Falzversuch ist ähnlich wie bei
Lackprüfung vorzugehen.

10. Zwischen nichtimprägnierten und imprägnierten Faserstoffen
man hinsichtlich des Verhaltens gegen Feuchtigkeit einen Unter-
ied zu machen. Für die ersten ist die Fähigkeit, Wasser aufzusaugen,
ermitteln. Imprägnierte Gewebe sind feuchtigkeitsbeständig herzu-
len, daher ist dieser Umstand zu prüfen.

11. Für die Feststellung der Aufsaugefähigkeit wird vermieden,
Proben in der Wärme zu trocknen. Es ist besser, den Prüfkörper
ı 10 cm Länge und 10 cm Breite in einen Exsikkator zu legen. Nach
Wägung bringt man ihn einige Tage in einen feuchtigkeitsgesättig-
Raum und wägt ihn dann wieder. Die Durchschlagsfestigkeit von
ckenem und feuchtem Gewebe ist zu vergleichen.

12. Für imprägnierte Gewebe kann man das Verfahren in der-
en Weise anwenden, wie bei den Lacken, indem man Proben von
m × 10 cm 8 Tage lang in feuchtigkeitsgesättigter Luft bei 20°
r in Wasser bei 20° liegen läßt. Dann nimmt man Durchschlags-
suche vor und vergleicht die anfängliche Durchschlagsfestigkeit mit
nach 8 Tagen.

13. Die Einwirkung von Luft und Wärme auf nichtimprägnierte
r auf imprägnierte Faserstoffe ist eine sehr verschiedene. Reine Ge-
e können bei Hitze gebrechlich werden und sogar verkohlen. Um
zu prüfen, wickelt man eine Probe von 10 cm × 10 cm über eine
pferstange von 50 cm Länge und legt darüber einen Schutz gegen
kte Berührung mit der Flamme. Mit Hilfe von Thermoelemen-
ist überall eine Temperaturbestimmung möglich. An den äußeren
len ist die Kupferstange heizbar. Man kann auf diese Weise die
nperatur feststellen, wann das Sengen beginnt, ebenso die Ent-
nmungstemperatur. Die gesuchte Temperatur ist diejenige, bei
cher nach dem Thermoelement das Gewebe zu rauchen beginnt.

14. Die Unterschiede der mechanischen Eigenschaften reiner Ge-
e in der Wärme lernt man noch besser kennen, wenn man auch
timmungen der Reißlänge und der Längenausdehnung vornimmt.

15. Als zulässige Mindesttemperatur soll wenigstens die Höchst-
peratur gelten, welche in den elektrischen Maschinen, wo das betr.
webe benutzt wird, vorkommen kann.

16. Als angemessene Zeit für den Wärmeversuch werden 8 Tage
Vorschlag gebracht. Bei imprägnierten Stoffen kann man sich unter

bwesenheit von Luft scheinen um einen kleinen Betrag geringer zu
als wenn sie in Luft erhalten wurden.

17. Alle Gewebe nehmen im Laufe der Zeit durch die Luft an
igkeit ab. Um sicher zum Ziele zu kommen, bedient man sich zur
ıahme dieser Alterungsprüfungen der Hilfe von Ozon. Innerhalb
ınden, ohne eine Unterbrechung eintreten zu lassen, erhält man
liese Weise das Ergebnis, welches der Wirkung von 1 Monat an un-
ıtigen atmosphärischen Bedingungen in kalter und feuchter Luft
pricht. Als Erzeuger der Glimmstrahlungen wird die Spitzen-
ıung von ungefähr 1000 Nadeln mit 2700 V Spannung zwischen
troden von 10 cm Abstand nutzbar gemacht. Der von Boreau stam-
de Versuchsapparat ist beschrieben im Bulletin de la Société des
nieurs Eléctriciens III, S. 869. Die meisten Gewebe saugen Öl auf.
ıat sich gezeigt, daß nach 8 Tagen die Grenze erreicht ist. Bei Öl
70° ist dies schon nach einigen Stunden der Fall. Trotzdem wird
eschlagen, an imprägnierten Geweben von 10 cm × 10 cm die
chschlagsversuche nach achttägiger Lagerung in heißem Öl von
vorzunehmen, ebenso Zugversuche.

18. In Transformatorenölen findet bekanntermaßen eine Einwir-
g auf nichtimprägnierte Baumwolle statt, indem die mechanischen
nschaften verschlechtert werden. Deshalb macht man zweck-
ig mit nichtimprägnierten und imprägnierten Geweben Zugversuche
ı achttägigem Liegen in heißem Öl von 110°. Baumwolle erleidet
Widerstandsverminderung von 15—20 vH.

19. Wichtig ist noch, festzustellen, wie Gewebe auf Körper wirken,
denen sie in Berührung kommen, z. B. auf Kupfer. Man preßt nach
eau eine Gewebeprobe von 10 cm × 10 cm zwischen zwei blank-
ıtzte feinpolierte Kupferplatten und erwärmt acht Tage lang auf
. Gewöhnlich stellt man dann das Auftreten von grünlichen Flecken
Durch einen Leitfähigkeitsversuch ist zu prüfen, ob der spez.
erstand abgenommen hat.

20. Da die Gewebe meistens nicht chemisch neutral sind, ermittelt
ı den Säuregehalt durch den Angriff auf Kupfer. Ein bestimmtes
icht des Gewebes wird in feine Teilchen zerschnitten und 1 Stunde
mit destilliertem Wasser gekocht. Durch Titration stellt man den
regehalt fest. Bei der Untersuchung auf anorganische Säuren kocht
ı das Gewebe mit wasserfreiem Benzin oder Alkohol, oder man läßt
Gewebe 8 Tage lang in einer Benzin-Alkoholmischung liegen.

21. Die Befähigung der Gewebe für die Imprägnierung soll nach
Kapillarmethode untersucht werden, wie sie bei den Lacken ge-
ıchlich ist. Gewebe, die mit Öl oder anderen Stoffen getränkt wer-
sollen, dürfen keinerlei Appretur haben.

22. Durchschlagsversuche sind in derselben Weise vorzunehmen,
dies für Papiere und Lacke vorgeschrieben ist, und zwar nach einer
ıstündigen Trocknung bei 100°. Es sind zehn Feststellungen zu
ıhen, aus deren Mittel man das Ergebnis der Versuche nimmt. Bei
Isolierung einer Maschine soll man sich daran erinnern, daß nur

;erschiede zwischen den niedrigsten und den mittleren Durch-
lagszahlen sollen aus praktischen Gründen nicht größer als 10 bis
vH sein. Es kann verlangt werden, daß das Gewebe für eine durch
Prüfung ermittelte Spannnng dann auch dauernd hält. Um dies
gewährleisten, hat der Durchschlag nicht vor Ende einer Zeit von
Min. zu erfolgen. Die genaue Zeit ist durch vergleichende Versuche
bestimmen.

23. Für die Leitfähigkeitsuntersuchungen werden Elektroden aus
i rechtwinkeligen Kupferplatten benutzt, die durch eine Hartgummi-
cke zusammengehalten werden. In einer Entfernung von 1 cm wer-
sie planparallel aufgesetzt. Die Ränder sollen in Aufsicht 45^0
:äg sein, die unteren Kanten leicht abgestumpft. Die Winkel der
tten haben eine solche Brechung zu besitzen, daß ein namhafter
:trostatischer Druck vermieden wird. Die zweckmäßige Kanten-
ge beträgt 5 cm.

24. Ohmscher Widerstand und spez. Leitfähigkeit sind mit der
ıner Brücke zu bestimmen, wenn man es überhaupt für nötig hält,
zu messen. Diese Untersuchungen sollen auf Geweben stattfinden,
che zwei Stunden bei 100^0 getrocknet sind.

25. Soweit das Kommentar. Der nachstehend im Wortlaut wieder-
ebene Entwurf der französischen Prüfungsvorschriften enthält
Forderungen, welche auf die Feststellung hinauslaufen, bis auf welche
lrigsten Werte die Eigenschaften der zu prüfenden Stoffe nicht herab-
en dürfen. Die Werte sind aber nur durch Buchstaben gekennzeich-
, eine Klassifikation ist noch nicht erfolgt.

wurf von Lieferungsbedingungen beim Bezug von isolierenden Geweben.

Bei der Lieferung sollen die üblichen Erklärungen über die Stärke, das
richt u. a. gemacht werden.

Die isolierenden Gewebe, welche für den Gebrauch in der Elektro-
nik bestimmt sind, sollen folgenden Bedingungen entsprechen:

Mechanische Eigenschaften.

1. Die Zugfestigkeit, bestimmt durch die angegebene Methode und
)gen auf 1 mm², soll nicht niedriger sein als A_1 kg für nichtimprägnierte
rebe und A_2 für imprägnierte Gewebe.

2. Die Längenänderung für alle Gewebe soll nicht unter B vH liegen.

3. Die Durchschlagsfestigkeit, zugleich mit den Zugfestigkeitsver-
ıen nach der angegebenen Methode gemessen, soll nicht geringer sein
E vH. der Durchschlagsfestigkeit des Originalgewebes.

4. Die Durchschlagsfestigkeit, während der Druckversuche bei dem
ck von D kg/cm gemessen, soll nicht niedriger sein als E vH von der
chschlagsfestigkeit des Originalgewebes.

5. Die Widerstandsfähigkeit, nach der angegebenen Methode gemessen,
nicht niedriger sein als F kg/cm pro mm der Dicke.

6. Die Durchschlagsfestigkeit, nach der angegebenen Methode gemessen,
um die Widerstandsfähigkeit gegen Falzen festzustellen, nicht niedriger
als G vH der Durchschlagsfestigkeit des Originalgewebes.

7. Die Dicke soll sich nicht um mehr als γ vH von derjenigen ent-
en, welche durch den Lieferanten angegeben wird.

Physikalisch-chemische Eigenschaften.

8. Für nichtimprägnierte Gewebe soll die Feuchtigkeitsaufnahme unter den angegebenen Bedingungen nicht über H vH vom Gewicht des trockenen Gewebes hinausgehen.

9. Die Durchschlagsfestigkeit für nichtimprägnierte Gewebe soll nach dem Feuchtigkeitsversuch nicht niedriger als K_1 vH der Durchschlagsfestigkeit des Originalgewebes sein.

10. Für imprägnierte Stoffe soll die Durchschlagsfestigkeit nach dem Feuchtigkeitsversuch unter den angegebenen Bedingungen nicht niedriger sein als K_1 vH der ursprünglichen Probe und nach dem Versuch mit Wasser als K_2 vH der ursprünglichen Probe.

11. Die Verkohlungstemperatur soll nicht niedriger sein als L^0 vH.

12. Die Durchschlagsfestigkeit nach dem Aufenthalt in der Wärme unter den angegebenen Bedingungen soll nicht niedriger sein als M_1 vH der Originalprobe. Die Durchschlagsfestigkeit nach gleichem Lagern und Falzen nach der angegebenen Methode soll nicht niedriger sein als M_2 vH der Originalprobe. Die Zugfestigkeit nach dem Aufenthalt in der Wärme soll nicht niedriger sein als N_1 vH. des anfänglichen Widerstandes, und die Verlängerung soll nicht weniger betragen als N_2 vH der anfänglichen Verlängerung.

Die Durchschlagsfestigkeit nach einem Aufenthalt in der Wärme, gegen Luft geschützt, soll für imprägnierte Gewebe nicht geringer sein als P vH der Originalprobe.

13. Die Durchschlagsfestigkeit auf Grund des Versuchs der Widerstandsfähigkeit gegen Entladungen soll unter den angegebenen Bedingungen nicht niedriger sein als Q vH. der ursprünglichen Probe (für Q wurden 80 vH vorgeschlagen).

14. Die Durchschlagsfestigkeit nach dem Widerstandsversuch in Öl soll für imprägnierte Gewebe nicht niedriger sein als R vH der Originalprobe (für R wurde 100 vH vorgeschlagen).

15. Der Widerstand gegen Zug auf Grund des Versuchs der Widerstandsfähigkeit in Öl soll nicht niedriger sein als S vH des anfänglichen Widerstandes des Gewebes (für S wurden 80 vH vorgeschlagen).

16. Nach dem Lagern in Berührung mit Kupfer soll man unter den angegebenen Bedingungen im allgemeinen keine grüne Spur auf dem Kupfer oder auf dem Gewebe beobachten. Im Falle grüne Flecken entstehen, soll die Leitungsspannung nicht niedriger sein als T vH der anfänglichen Leitungsspannung (für T wurden 100 vH vorgeschlagen).

17. Der Mineralsäuregehalt soll nicht höher sein als U_1. Der Gehalt an organischen Säuren soll nicht höher sein als U_2.

18. Die nichtimprägnierten Gewebe, welche für die Imprägnierung bestimmt sind, sollen nicht mit Appretur bedeckt sein. Die Ölaufnahme beim Versuch auf Kapillarität hin soll nicht niedriger sein als V mm.

19. Die Durchschlagsfestigkeit soll nicht niedriger sein als W_1 V/cm für nichtimprägnierte Gewebe, als W_2 V/cm für imprägnierte Gewebe. Die Gewebe sollen (dauernd) W_3 vH ihrer Durchschlagsfestigkeit aushalten.

20. Die Leitfähigkeit soll nicht niedriger sein als X_1 V für nichtimprägnierte Gewebe und als X_2 V für imprägnierte Gewebe.

21. Der spezifische Widerstand, nach der angegebenen Methode gemessen, soll nicht niedriger sein als Y Ohm.

22. Die dielektrischen Verluste sollen unter den angegebenen Bedingungen nicht hinausgehen über Z w/ccm.

23. Die Dielektrizitätskonstante soll nicht höher sein als n.

Im Falle der Lieferant wünscht, daß sein Gewebe nicht dem einen oder mehreren der Versuche ausgesetzt werden soll, ist dies in den Bedingungen anzugeben.

XII. Erklärungen zu den vorhergehenden Entwürfen zur Prüfung elektrischer Faserstoffe.

Prüfungsvorschriften sind keine Synthesen bekannter oder neuer
›ffe. Indes geben sie uns durch ihre Ausführung nicht nur ein Bild
a dem Verhalten der Körper. Nicht nur reizen die gefundenen Werte
ı Fabrikanten, eine weitere Steigerung der wünschenswerten Eigen-
ıaften vorzunehmen. Sondern die Festsetzung der Prüfvorschriften,
nn dabei sämtliche beteiligten Kreise durch rege Mitarbeit beisteuern,
ıren auch zu einem Überblick über alles das, was an den zu nor-
nden Stoffen günstig oder ungünstig ist. Dabei kommen die ver-
ıiedensten Verwendungsarten zum Vorschein, und es ist kein Un-
.ck, wenn auch solche, die zunächst wirtschaftlich oft noch unbedeu-
.d sind, plötzlich ans Tageslicht treten. Die Erfahrungen, welche
t den elektrischen Nichtleitern auf allen ihren so außerordentlich
nnigfaltigen elektrischen Anwendungsgebieten gemacht werden,
l selbstverständlich ebenso hinzukommend alle theoretischen Unter-
hungen, geben dem Chemiker und Technologen eine wertvolle Hand-
›e, Rohstoffe und Herstellungsmethoden der Isoliermaterialien so
zugestalten, daß neue Nichtleiter herauskommen, welche den ge-
igerten Ansprüchen immer besser entsprechen.

Deshalb sind auch im vorhergehenden diejenigen Stimmen in kurzen
:ichten wiedergegeben, welche sich zu dem veröffentlichten Entwurf ge-
ßert haben. Eine Stellungnahme dazu hat zunächst nicht stattgefunden.

Es ist aber unmöglich, in einer Prüfungsvorschrift all und jede
hältnismäßig geringe Anwendungsart zu berücksichtigen, weil da-
'ch die nötige Einfachheit bei der Ausführung der Prüfung vernichtet
d. Nichtimprägnierte und imprägnierte Faserstoffe für besondere
ecke sind daher zusätzlich zu behandeln. Die Kommission für Isolier-
ffe des VDE wird sich voraussichtlich bald über die endgültige
ısung schlüssig werden.

Unter anderen fragt es sich, ob ein einfaches Hineinhängen der
ıtimprägnierten und imprägnierten Faserstoffe in kaltes oder heißes
wirklich brauchbare Aufschlüsse darüber gibt, wie sich die Faser-
fe im **Betrieb** verhalten. Wie aus dem XVII. Kapitel, in welchem
ınsformatoren- und Schalteröle besprochen wurden, hervorgeht, zer-
:en die unter dem Druck des elektrischen Feldes und unter der
alytischen Wirkung der Metalle entstehenden Zersetzungsprodukte
Öls die Umspinnungen und Gewebe. Infolgedessen entsteht die
›wendigkeit, bei Prüfungen der Faserstoffe auf Ölbeständigkeit im
rieb diesen Belastungen Rechnung zu tragen.

Ein gutes Teil zweckmäßiger gestaltet sich schon die Untersuchung,
ın die Proben längere Zeit, evtl. unter Bewegung, in gebrauchtes,
› säure- und schlammhaltiges, heißes Öl getaucht werden und man
diese Weise den Angriff der Stoffe feststellt.

Was besonders in dem französischen Entwurf für die Lieferungs-
ingungen elektrischer Faserstoffe auffällt, ist die starke Betonung

in den Nichtleitern. Also auch bei Dielektriken geringer Stärke, wie z. B. bei imprägnierten Garnen, Geweben und Papieren, wird der darin befindliche Luftgehalt kritisch beurteilt, und eine besondere Aufmerksamkeit wurde deshalb auch dem „Altern“ geschenkt.

Es ist ernstlich zu erwägen, auch die dünnwandigen faserigen Isolierstoffe in ihrer Form als Garn, Papier und Bänder nicht mit Bindemitteln in Lösungen zu behandeln, sondern mechanisch gut aufbereitet und nach Entfeuchtung mit kolloidfeinen hochisolierenden Stoffen zu verschmelzen und zwar in indifferenten Gasen. Hydroxylionen, Wasserstoff- und Sauerstoffionen im elektrischen Feld zu belassen ist ungefähr gerade so, als wenn sich in Kesselblechen Einschlüsse von eisenzersetzenden Säuren od. dgl. befinden. Durch dielektrisch richtig hergestellte dünne Nichtleiter gelangen wir zu ganz außerordentlich hohen elektrischen Festigkeiten.

Das Abreißen der Garne und Bänder, überhaupt jedes Stoffes, denken wir uns so, daß überall in den Materialien sehr feine Risse vorhanden sind, welche durch die Beanspruchung auf Zug, Torsion, Abscherung usw. bis zum Körperende erweitert werden. Jedenfalls stellen wir uns diesen Vorgang so vor, daß er nicht mit dem Feinbau der Materie zusammenhängt.

Während z. B. bei den Metallen die bleibende Dehnung durch die Abgleitung von Kristallschichten an Ebenen bestimmter Kristallformen entlang vor sich geht und dabei eine Gitterdehnung sowie eine Verfestigung der Kristalle eintritt, sind im Gegensatz hierzu die Kristalle des Zellstoffes unveränderlich. Ein Abgleiten wird hier nicht angenommen. Sondern durch Zug und Druck verändert sich nur ihre Lage. Die Einbettungssubstanz, in welcher die Zellstoffkristalle gelagert sind, ist empfindlich gegen Feuchtigkeit. Es kommen hierdurch die plastischen Dehnungserscheinungen und das Quellen zustande.

Der Zellstoff ist aufgebaut aus Faserbündeln, die Elementarfasern sind beiderseitig geschlossene spitze Röhrchen. Durch verbesserte optische Betrachtungen stellt man fest, daß diese ihrerseits wieder aus feinen Fasern bestehen, welche wie ein dünneres ovales Rohr in einem dickeren untergebracht sind. Man gelangt bei dieser Unterteilung der Elementarfasern, die mit Anwendung schärferer Mikroskope immer größer wird, zu den Primitivfasern oder Fibrillen, deren Zusammensetzung durch die Untersuchung mit Röntgenstrahlen und die dabei entstehenden Interferenzerscheinungen auf einer photographischen Platte als Kristalle erkannt wurden. Die Kristalle denkt man sich aus Kolloidmizellen hervorgegangen.

Je gleichmäßiger die Kristalle mit der zwischen ihnen liegenden Einbettungssubstanz verbunden sind, um so besser sind die mechanischen Eigenschaften der Faser. Gelingt es, kolloidfeine elektrisch isolierende Bindemittel bis in die feinsten Zwischenräume der Fasern hineinzubringen und dann eine dielektrisch richtige Verschmelzung, tunlichst unter Druck, vorzunehmen, so gelangen wir zu Nichtleitern, welche außer einer hohen elektrischen Festigkeit sich hinsichtlich ihres mechanischen Verhaltens, z. B. Zähigkeit, Biege- und Zugfestigkeit usw.,

III. Anorganisches Isoliermaterial, vornehmlich Porzellan.

1. Natürliche elektrisch isolierende Materialien, wie Marmor, iefer, Granit und verschiedene andere Gesteinsarten, sollen nicht behandelt werden, sie kommen nur für niedrige Spannungen rage und werden infolge Durchsetzung mit leitenden Einschlüssen wegen Hygroskopizität immer mehr durch betriebssichere künst- Nichtleiter ersetzt. Sie sind durch K. Geisler in Schering, Isolierstoffe der Elektrotechnik, behandelt.

2. Glimmer, einer unserer wertvollsten Isolierstoffe, ist durch chröder in dem vorgenannten Werk hinreichend ausführlich ge- zeichnet. Es bedarf hier nur der Anregung, auch die Bearbeitung der ımerplättchen zu Hochspannungsnichtleitern nach vorheriger Ent- ıtung auch der Bindemittel unter Ausschluß von Luft in indiffe- ›n Gasen vorzunehmen.

3. Quarz im amorphen Zustande gehört zu unseren besten elek- ıen Nichtleitern und zeichnet sich vor allem dadurch aus, daß Wärmeausdehnungskoeffizient außerordentlich gering ist. Die hschlagsfestigkeit ist erheblich größer wie im kristallisierten Zu- l. Nach Lutz[1]) eignet sich geschmolzenes Quarzglas im Ver- h zu Bernstein deshalb besser für elektrostatische Zwecke, weil ende Schrumpfungen, welche bei stärkerer Abkühlung in Bernstein 'eten, in Quarz nicht beobachtet wurden. Bei W. C. Heräus wurde estellt, daß Quarzglas in feuchter, säurehaltiger Luft weniger indlich ist wie Bernstein und sich auch leichter reinigen läßt. Über die Eigenschaften [illegible] lbuch von Singer, Di swirtschaft 1923, S. 29'

Gesc

te	
stigkeit	[illegible]
kfestigkeit	19800 kg/cm²
izitätsmodul	7200 kg/cm²
ere spezifische Wärme	0,2313 (100⁰—1600⁰)
ehnungskoeffizient	0,00000059
neleitfähigkeit	0,0026
ıelzpunkt.	1700⁰—1800⁰ C
ichung . . . . etwa	1500
rischer Widerstand bei 727⁰ C	400000 Ohm
hschlagsfestigkeit	30000 Volt bei 1,2 mm Dicke
ktrizitätskonstante	3,5—3,6
chtsbeständigkeit	absolut
ıischer Widerstand gegen H_2So_4 . . .	absolut
ıischer Widerstand gegen NaOH . . .	angegriffen
hlässigkeit für ultraviolettes Licht . .	bis etwa 180 $\mu\mu$
e	223 kg/mm² in abs. Zahlen, 7 nach Mohs

4. Gläser, welche durch Schmelzen von Kalzium- und Alkalisili- a gewonnen werden, sind bekanntlich deshalb als elektrisches Isolier- el wenig vorteilhaft, weil der Masse die Temperaturbeständigkeit

fehlt und die Oberfläche zersetzlich ist. In geringem Maße enthält Glas Gase gelöst. Diese Gase sind nicht wie bei den gesinterten Massen atmosphärischen Ursprungs, sondern sie entstehen beim Verschmelzen durch Zersetzung der Karbonate[1]). Nachteilig ist für die Gläser, daß große Stücke davon durch das Abkühlen schwer spannungsfrei zu machen sind. Eine völlige Homogenität ist also trotz des amorphen Zustandes und des Entstehens aus einem Schmelzfluß auch hier nicht vorhanden.

Wie schon auf S. 21 ausgeführt wurde, vollzieht sich die Stromleitung in Gläsern nach den von Faraday aufgestellten Gesetzmäßigkeiten der Elektrolyse. Anfänglich ist die Leitfähigkeit gering. Sie steigt dann im Sinne der Formel von Hinrichsen und Rasch $\log W = V/T + C$, wo W der Widerstand, T die absolute Temperatur, V und C Konstanten sind, stark mit der Temperatur an, bis der Durchschlag erfolgt. Der Gehalt an Alkalien, vor allem an Natriumverbindungen, vermehrt die Leitfähigkeit, es zeigt sich bei den meisten Gläsern eine Abhängigkeit der Leitfähigkeit von der Viskosität und der chemischen Angreifbarkeit. Mit steigender Temperatur nimmt der Dissoziationsgrad ab. Bei hohen Felddichten können freie Elektronen im Glas durch Stoß neue Elektronen abspalten.

Pirani und Schönborn[2]) haben in Glasperlen von ungefähr 10 mm Durchmesser zwei Elektroden in 5 mm Abstand eingeschmolzen und eine Spannung von 800 V bei 50 Per/s angelegt. Die Glasperlen wurden in einem elektrischen Ofen mit einer Heizgeschwindigkeit von 10° C je Minute erwärmt, indem die Temperatur mit Thermoelementen bestimmt und die Leitfähigkeit gemessen wurde. Für reine Silikatgläser und für kieselsäurefreie Boratgläser wurde eine eindeutige Beziehung zwischen den Durchschlagstemperaturen und dem Wert der spezifischen Leitfähigkeit gefunden.

Es wurden dann eine Anzahl Körper gepulvert, gepreßt und hochgesintert. Bei eingesinterten Elektroden in 5 mm Entfernung und Anlegen einer Spannung von 800 V und 50 Per/s ergeben sich die nachstehenden Durchschlagtemperaturen:

Schottglas 397 III	330° C
Marquardmasse	395° C
Porzellan	420° C
Basalt	470° C
Zirkallit	540° C
Gundelach-Platineinschmelzglas	553° C
Zinkonoxyd	720° C
Speckstein	900° C
Berylliumoxyd	1000° C
Bornitrid	1100° C
Aluminiumoxyd	1200° C
Magnesiumoxyd	1200° C

---

[1]) Washburn, Footit, Bunting. Univ. Bull. Illinois 18, 32, 1920. Ref. in Chem. Zentralblatt 92, IV, 338, Sprechsaal 1921, 482. — Zschimmer, Theorie der Glasschmelzkunst. 2. Buch S. 140. Jena 1924.

[2]) M. Pirani u. H. Schönborn, Die Bestimmung der elektrischen Durchschlagsfestigkeit von Gläsern und keramischen Stoffen. Z. techn. Phys.

Bei den ersten 7 Körpern erfolgte der Durchschlag plötzlich, bei ibrigen 5 Proben stellten sich vorher Oberflächenentladungen ein. Das von Schott unter der Bezeichnung O118 hergestellte Flint- zeigt bei 90° C keine verringerte elektrische Festigkeit, wohl aber erhöhte elektrische Leitfähigkeit.

5. Basalt ist ein Eruptivgestein vom spez. Gewicht 2,8—3, be- nd aus Tonerde-Calzium-Magnesiumsilikaten. Er wird gebrochen läßt sich bei 1300° C schmelzen. Aber durch diesen Schmelzprozeß ert das Material seine bisherige Dichtigkeit und wird hygroskopisch. einem neueren Verfahren wird der Basalt jetzt ausgeglüht und t angeblich dabei die Eigenschaften des Naturbasaltes zurück. r Prozeß dauert je nach der Größe der Stücke stunden- und auch ang. Der Ausdehnungskoeffizient ist gleich dem des Eisens. Eine liche elektrische Festigkeit soll er besitzen. Untersuchungen, die sicheren Schluß auf die technische Brauchbarkeit als Isolator zu- 1, sind bisher nicht vorhanden. Insbesondere ist es fraglich, ob die überall spannungsfrei ist, Temperaturwechsel verträgt und keine gen Einschlüsse besitzt.

3. Unter dem Namen Steatit ist eine keramische, elektrisch iso- de Masse im Handel, welche aus Magnesiumsilikaten besteht. pulverisierte Gestein läßt sich trocken verpressen und wird dann Segerkegel 14—16 gebrannt. Eine bedeutsame Eigenschaft dieser er ist ihr geringes Schwindmaß, welches zur Folge hat, daß die uigkeit der Steatitkörper größer ist wie bei Porzellan. Von allen nischen Stoffen besitzt das Steatit die mechanisch besten Eigen- ten. Die Zugfestigkeit, Druckfestigkeit, Kugeldruckfestigkeit, festigkeit, Torsionsfestigkeit und nicht zuletzt die Schlagbiege- keit sind wesentlich höher wie bei Feinsteinzeug, Porzellan und Mittelstufe zwischen Porzellan und Steatit, dem Melalith.

Auch im Naßverfahren läßt sich die Steatitmasse aufbereiten. Da zur Entwicklung der plastischen Eigenschaften der Tonerdegehalt so ist die grüne Masse beim Drehen kurz und reißt gern ab. Die des Steatits hat einen gelblichen Einschlag, die Masse ist nicht scheinend. Es ist möglich, das Steatit mit einer dunkelbraun henden Glasur zu versehen.

Das Melalith geht aus einem Ansatz hervor, welcher teils aus it, teils aus Porzellanmasse besteht. Die Fabrikation gleicht der elektrischem Porzellan.

7. Aus der Schwierigkeit heraus, große Porzellanstücke spannungsfrei stellen, ist die Heranziehung auch des Steinzeugs für elektrische rkörper hervorgegangen. Das Feinsteinzeug, wie es die Deutschen und Steinzeugwerke für Durchführungen bis über 4 m Länge in 1 Stück herstellen, besitzt eine erheblich geringere Schwindung Porzellan. Der Abkühlungsprozeß nach dem Brennen hat zur Ver- ung von Spannungen sehr sorgfältig zu geschehen. Der Scherben lbbraun und undurchsichtig. Näheres ist zu entnehmen aus einer

8. Das wichtigste keramische Isoliermaterial stellt noch immer das Porzellan dar. Ihm ist aber auf dem Hochspannungsgebiet seit einiger Zeit ein erfolgreicher Wettbewerb entstanden durch Hartpapier und Hochspannungskabel. Der unübertroffene Vorzug von dichtgebrannten keramischen Nichtleitern, also von Steatit, Melalith, Feinsteinzeug und Porzellan, ist deren Unempfindlichkeit gegen Witterungseinflüsse und scharfe chemische Reagenzien. In neuerer Zeit ist es gelungen, vor allem beim Porzellan, die Durchschlagsfestigkeit, die Beständigkeit gegen schroffe Temperaturwechsel und ebenso die mechanischen Eigenschaften erheblich zu verbessern. Teilweise ist das eine mit dem anderen zugleich erreicht worden.

Während man früher glaubte, daß nur ein reinweißer glasiger Scherben und eine hohe Transparenz das Zeichen besonderer Güte auch für elektrisches Hochspannungsporzellan bedeuten, ist diese Ansicht heute nicht mehr haltbar.

Ungefähr zur Hälfte besteht der Masseversatz für Porzellan aus Kaolin, auch Porzellanerde genannt. Unter dem Einfluß von Wasser und der Kohlensäure in der Luft findet eine Verwitterung des Feldspates und feldspathaltiger Gesteine wie Granit, welcher Feldspat, Quarz und Glimmer enthält, und vom Porphyr, welcher aus Feldspat und Quarz zusammengesetzt ist, statt. Die Silikate der Alkalimetalle gehen bei diesem Prozeß in Lösung, und Aluminiumsilikat bleibt als unlösliches Produkt zurück. Rührt man diese tonige Masse mit Wasser an, so wird sie knetbar und plastisch. Getrocknet ist Kaolin ein leicht zerreibliches Pulver. Die Masse zeigt unter starker Vergrößerung farblose trikline Flächen. Die Kaolingruben in der Nähe von Halle sind porphyrischen Ursprungs, dagegen sind die böhmischen Kaoline aus der Granitzersetzung hervorgegangen. Für Kaolin nimmt man die chemische Formel an: $Al_2O_3 \cdot 2\,SiO_2 \cdot 2\,H_2O$, nach der also 39,6 vH Tonerde (Al_2O_3) 46,5 vH Kieselsäure (SiO_2) und 13,9 vH Wasser (H_2O) das reine Kaolin bilden.

Die beiden anderen Ausgangsstoffe der Porzellanfabrikation sind Quarz und Feldspat, von denen jeder dieser Stoffe ungefähr ein Viertel der Gesamtmasse ausmacht. Quarz (SiO_2) wird als solcher in feingepulvertem Zustande der grünen Masse zugesetzt, er kann aber auch bereits in einem der anderen beiden Rohstoffe enthalten sein. Gewöhnlich zeigt er dann eine äußerst feine Verteilung, die für die Entstehung von gutem Porzellan sehr vorteilhaft ist.

Für Feldspat läßt sich die Formel $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6\,SiO_2$ zugrunde legen, was einem Gehalt von 16,9 vH Kali (K_2O), 18,3 vH Tonerde und 64,8 vH Kieselsäure entspricht. Früher wurde viel norwegischer Feldspat verarbeitet, welcher sehr rein ist. Wir können aber jetzt die deutschen Feldspatläger für die Porzellanherstellung ebenfalls heranziehen.

Die feingemahlenen Mineralien werden durch sorgfältige Reinigung, Schlemmung und Mischung aufbereitet, zur Vergrößerung der Plastizität längere Zeit feucht gelagert und dann nochmals maschinell gut durchgearbeitet. Dann

Schon unter 500° C tritt eine chemische Veränderung des Kaolins
, das Hydratwasser spaltet sich ab und verdunstet, Al_2O_3 und SiO_2
'chsetzen die Porzellanmasse in Form feiner Ablagerungen. Mit
gender Temperatur schreitet dieser Prozeß quantitativ fort, bis
ı um 700° C herum die gesamte kieselsaure Tonerde, als Kaolin zu-
etzt, von ihrem chemischen Wasser befreit hat. Die Reaktion ver-
ft bei weiter gesteigerten Brenntemperaturen jetzt exotherm, indem
O_3 und SiO_2 aufeinander einwirken und ein neues Silikat bilden, den
imanit $Al_2O_3 \cdot SiO_2$, welcher überall in amorpher Form die poröse
amische Masse durchsetzt. Geht die Ofenhitze weiter in die Höhe,
beginnen Bestandteile der Versatzmasse zu schmelzen. Dies ist zu-
; beim Flußspat der Fall, welcher gegen 1200° C zunächst dickflüssig
tritt, dann bei weiter erhöhter Temperatur leichtflüssiger wird und
ı auf seine Umgebung lösend betätigt.

Von Körpern, welche von dem geschmolzenen Flußspat aufge-
ımen werden, kommt in erster Linie die amorphe Kieselsäure in Be-
:ht, welche sich bei der Verflüchtigung des Hydratwassers aus dem
olin abgeschieden hatte, weiter der feinverteilte ebenfalls in nicht
ıtallinischem Zustand befindliche Sillimanit und schließlich der
arz, welcher der Versatzmasse in ungefähr einem Viertel ihrer Menge
efügt war. Die Lösungsfähigkeit des geschmolzenen Flußspates ist
die drei genannten Lösungsstoffe verschieden. Anzunehmen ist,
; die Flußspatschmelze dazu neigt, die reine Kieselsäure in höherem
ße zu lösen wie die an Tonerde gebundene Kieselsäure, den Sillimanit.
olgedessen wird nach bestimmter Zeit Sillimanit aus der Flußspat-
ıng abgeschieden, es bilden sich neben gelöstem Sillimanit kristal-
sche Sillimanitnadeln.

Angegeben war, daß das Verhältnis von Kaolin zu Quarz zu Feld-
t in der Versatzmasse 50 : 25 : 25 beträgt. Natürlich kommt es bei
sen Mineralien darauf an, aus welchen Gesteinsarten sie entstanden
l. Bevorzugt wird z. B. der aus Norwegen stammende Feldspat.
ßerdem sind derartige Naturprodukte niemals ganz rein, Oxyde von
alien, Erdalkalien, Eisen u. a. sind vorhanden und nicht ohne Einfluß.

Es entsteht hier die Frage, ob der genannte Prozentsatz der Aus-
gsstoffe für die Herstellung von Hochspannungsporzellan der best-
gliche ist. Nach dieser Richtung hin sind Versuche unternommen
:den, welche zum Ergebnis haben, daß eine allzu weite Entfernung
ı diesen Verhältnissen zweifellos schadet. Im übrigen wurde in einer
'gleichsserie ein elektrisch wie mechanisch besonders hochwertiges
'zellan erzielt mit 50 vH Hallischer Tonsubstanz, 30 vH Quarz und
vH norwegischem Feldspat. Der Glattbrand erfolgte bei Seger-
el 15. Es wurden aus zwölf Versuchen die nahe beieinander liegenden
ılen als Mittel berechnet. Bewertet wurde das Material nach der Höhe
Schlagbiegefestigkeit, welche an eckigen Stäben von 10 × 15 mm
erschnitt mit dem Schopperschen Pendelhammer vorgenommen
:den und 1,80 cmkg/cm² ergab, ferner nach seiner Durchschlags-
:igkeit. Diese fand an dünnen Platten unter Öl bei Benutzung von

Dieses ist das beste Ergebnis aus einer Reihe von Untersuchungen, welche E. Erwin Urban unternommen und darüber in einer Arbeit „Studien zur Herstellung von Elektroporzellan“ in der Keramischen Rundschau 1924, Nr. 19, S. 217, berichtet hat. Aus der mikroskopischen Betrachtung der Dünnschliffe im normalen und polarisierten Licht ist ersichtlich, daß sehr kleine Sillimanitkristalle überall gleichmäßig verteilt sind und der Glasfluß wenig Luft- und Tonteile aufweist. Im polarisierten Licht zeigen sich wenig Quarztrümmer, so daß der Versuchsansteller das Porzellan als praktisch frei von Quarzresten ansieht. Der Scherben hat einen zähen muscheligen Bruch. Eine Lösung von Fuchsin in Methylalkohol verläuft nicht. Es ist jedoch zu bemerken, daß die Widerstandsfähigkeit gegen plötzliche Temperaturwechsel bei anderen Versuchsstücken größer ist, besonders bei solchen, welche starke Lufteinschlüsse und außerdem viele scharfkantige Quarzsubstanzteilchen besitzen. Näheres ist aus der genannten Urbanschen Veröffentlichung zu entnehmen.

Die Frage, welche Zusammensetzung man der Versatzmasse zur Erzielung eines elektrisch besonders hochwertigen Porzellans zu geben hat, kann man am besten beurteilen, wenn die Bedingungen für hohe elektrische Festigkeit an anderen Isolierstoffen vergleichsweise herangezogen werden. Eine gewisse Führung durch die hier beim Porzellan vorliegenden noch sehr unsicheren Verhältnisse und auch beachtenswerte Richtlinien ergeben sich dann. Die Forderung heißt, einen Scherben brennen, welcher weder Feuchtigkeit aufsaugen kann, noch Luft enthält, und welcher aus einer Masse besteht, die überall von gleicher chemischer Beschaffenheit und gleicher Dichte ist.

Um dies zu erreichen, muß man bei den Rohstoffen anfangen. Wie vorher ausgeführt wurde, besteht Porzellan aus dreierlei verschiedenen Körpern, die sämtlich mineralisch und hochschmelzbar sind. Reagieren derartige Massen bei großer Hitze aufeinander, so haben wir es nicht mit schnellverlaufenden Prozessen zu tun, sondern die Zeit spielt eine Hauptrolle dabei. Es ist also zu entscheiden, ob man den Verlauf der Sinterung oder Verschmelzung bei einer relativ niedrigen Temperatur vornimmt, welche infolgedessen Zeit beansprucht, oder bei einer höheren Temperatur, welche auf die chemischen Vorgänge beschleunigend wirkt. In dem einen wie in dem anderen Fall brauchen die Wechselwirkungen zwischen den vorhandenen Stoffen nicht in gleicher Weise vor sich zu gehen.

Die Reaktionsbeschleunigung kann aber nicht nur dadurch erzielt werden, daß die Flußspatschmelze auf höhere Temperaturen gebracht wird, sondern auch in der Weise, daß alle Komponenten, vor allem der Quarz, in allerfeinstem Zustande vorhanden sind. Träge chemische Bindungen und physikalische Benetzung werden erheblich beschleunigt, wenn die dabei beteiligten Stoffe an sich in feinster Verteilung vorhanden sind und weiterhin durch eine gute Mischung dafür gesorgt ist, daß sie in enge Berührung miteinander gelangen. Rechnet man die Oberflächen aus, welche dann wirksam werden, so kann das Verhalten

elektrischer Festigkeiten stets auf diesen wichtigen Punkt hin-
sen. Zweckmäßig würde sein, den Verfrittungs- und Sinterungs-
ß des Porzellans nach der Verflüchtigung des Hydratwassers unter
: vorzunehmen. Es entstehen hier aber große technische Schwierig-
ı. Ein Vorteil bei der Fabrikation von elektrischem Porzellan
ıt darin, daß die flüchtigen Wasserbestandteile leicht entweichen
n und dann keine dielektrisch schädlichen Bestandteile mehr vor-
n sind oder sich bilden, deren Entfernung erforderlich ist. Aus-
ımen Luft. Es kommt also darauf an, daß eine richtig gewählte
ımensetzung des Masseversatzes gewährleistet ist und ein hin-
ch Zeit und Temperatur richtig geleitetes Glattbrennen erfolgt.
'aß hier Unvollkommenheiten in der praktischen Ausführung dieser
ıhmen vorhanden sind, ist jedem Fachmann klar. Die Homo-
t im Versatz, die Spannungslosigkeit in dicken Stücken und die
l im Brennofen herbeizuführende, an allen Orten gleiche Höhe der
ɔratur verlangen, große technische Schwierigkeiten zu über-
ı. Es ist hier festzustellen, ob der Rundofen oder der Tunnelofen
ste Möglichkeit geben, die Hitze zu regulieren, d. h. die Ofen-
ckung so zu behandeln, wie es für das gute Gelingen des Brandes
ist.

us den mikroskopischen Betrachtungen der Dünnschliffe im
len und polarisierten Licht kann der Hersteller von elektrischem
pannungsporzellan viel Wichtiges entnehmen, da chemische
ıen hier versagen. Auch die Behandlung des Scherbens mit
ure gibt orientierenden Aufschluß. Ist ein Porzellan in seiner
gleichmäßig mit feinen Sillimanitkristallen durchsetzt, so zeigt
es, wenn eine solche Probe in 50proz. Flußsäure nur wenig an-
en wird, weil die aus Quarzfeldspat erstarrte Schmelze viel
r widerstandsfähig gegen Flußsäure ist als Sillimanitkristalle.

ne leichtere Beurteilung der Porzellanmasse, ob sie für Hoch-
ıngszwecke geeignet ist, gewinnt man dadurch wieder, wenn man
e Masse in millionenfacher Vergrößerung vorstellt. Zunächst
ıcht man, ob Risse und Höhlungen vorhanden sind, welche durch
ɔhmäßigkeit beim Brennen und Überfeuern entstehen. Sie sind
chen, daß zum mindesten der Sinterungsprozeß, von der Ersatz-
abgesehen, grob fehlerhaft ist. Blasenbildungen und Narben an
berflächen können auch auf Mängel im Versatz zurückgeführt
:.

ährend bisher nur von den mineralischen Bestandteilen des Hart-
ıns die Rede war, entdeckt man bei genügender Vergrößerung,
ɪrzellanisolatoren auch Luft enthalten, und zwar durchaus nicht
ngen Mengen. Ein nur verglühter Scherben, aus welchem die
ıisch vorhanden gewesene und die chemisch gebundene Feuchtig-
twichen ist, stellt ein poröses Gebilde dar, in welchem das Innere
skuitartigen Körpers durch tausend feine und weniger feine
, welche untereinander zusammenlaufen, mit der Luft in Ver-
g stehen. Derartige Körner kommen für elektrische Isolierungs-

Dieses ist das beste Ergebnis aus einer Reihe von Untersuchungen, welche E. Erwin Urban unternommen und darüber in einer Arbeit „Studien zur Herstellung von Elektroporzellan" in der Keramischen Rundschau 1924, Nr. 19, S. 217, berichtet hat. Aus der mikroskopischen Betrachtung der Dünnschliffe im normalen und polarisierten Licht ist ersichtlich, daß sehr kleine Sillimanitkristalle überall gleichmäßig verteilt sind und der Glasfluß wenig Luft- und Tonteile aufweist. Im polarisierten Licht zeigen sich wenig Quarztrümmer, so daß der Versuchsansteller das Porzellan als praktisch frei von Quarzresten ansieht. Der Scherben hat einen zähen muscheligen Bruch. Eine Lösung von Fuchsin in Methylalkohol verläuft nicht. Es ist jedoch zu bemerken, daß die Widerstandsfähigkeit gegen plötzliche Temperaturwechsel bei anderen Versuchsstücken größer ist, besonders bei solchen, welche starke Lufteinschlüsse und außerdem viele scharfkantige Quarzsubstanzteilchen besitzen. Näheres ist aus der genannten Urbanschen Veröffentlichung zu entnehmen.

Die Frage, welche Zusammensetzung man der Versatzmasse zur Erzielung eines elektrisch besonders hochwertigen Porzellans zu geben hat, kann man am besten beurteilen, wenn die Bedingungen für hohe elektrische Festigkeit an anderen Isolierstoffen vergleichsweise herangezogen werden. Eine gewisse Führung durch die hier beim Porzellan vorliegenden noch sehr unsicheren Verhältnisse und auch beachtenswerte Richtlinien ergeben sich dann. Die Forderung heißt, einen Scherben brennen, welcher weder Feuchtigkeit aufsaugen kann, noch Luft enthält, und welcher aus einer Masse besteht, die überall von gleicher chemischer Beschaffenheit und gleicher Dichte ist.

Um dies zu erreichen, muß man bei den Rohstoffen anfangen. Wie vorher ausgeführt wurde, besteht Porzellan aus dreierlei verschiedenen Körpern, die sämtlich mineralisch und hochschmelzbar sind. Reagieren derartige Massen bei großer Hitze aufeinander, so haben wir es nicht mit schnellverlaufenden Prozessen zu tun, sondern die Zeit spielt eine Hauptrolle dabei. Es ist also zu entscheiden, ob man den Verlauf der Sinterung oder Verschmelzung bei einer relativ niedrigen Temperatur vornimmt, welche infolgedessen Zeit beansprucht, oder bei einer höheren Temperatur, welche auf die chemischen Vorgänge beschleunigend wirkt. In dem einen wie in dem anderen Fall brauchen die Wechselwirkungen zwischen den vorhandenen Stoffen nicht in gleicher Weise vor sich zu gehen.

Die Reaktionsbeschleunigung kann aber nicht nur dadurch erzielt werden, daß die Flußspatschmelze auf höhere Temperaturen gebracht wird, sondern auch in der Weise, daß alle Komponenten, vor allem der Quarz, in allerfeinstem Zustande vorhanden sind. Träge chemische Bindungen und physikalische Benetzung werden erheblich beschleunigt, wenn die dabei beteiligten Stoffe an sich in feinster Verteilung vorhanden sind und weiterhin durch eine gute Mischung dafür gesorgt ist, daß sie in enge Berührung miteinander gelangen. Rechnet man die Oberflächen aus, welche dann wirksam werden, so kann das Verhalten

r elektrischer Festigkeiten stets auf diesen wichtigen Punkt hinesen. Zweckmäßig würde sein, den Verfrittungs- und Sinterungseß des Porzellans nach der Verflüchtigung des Hydratwassers unter k vorzunehmen. Es entstehen hier aber große technische Schwierign. Ein Vorteil bei der Fabrikation von elektrischem Porzellan ht darin, daß die flüchtigen Wasserbestandteile leicht entweichen en und dann keine dielektrisch schädlichen Bestandteile mehr voren sind oder sich bilden, deren Entfernung erforderlich ist. Ausmmen Luft. Es kommt also darauf an, daß eine richtig gewählte mmensetzung des Masseversatzes gewährleistet ist und ein hinlich Zeit und Temperatur richtig geleitetes Glattbrennen erfolgt. Daß hier Unvollkommenheiten in der praktischen Ausführung dieser ıahmen vorhanden sind, ist jedem Fachmann klar. Die Homoät im Versatz, die Spannungslosigkeit in dicken Stücken und die ıll im Brennofen herbeizuführende, an allen Orten gleiche Höhe der peratur verlangen, große technische Schwierigkeiten zu überen. Es ist hier festzustellen, ob der Rundofen oder der Tunnelofen ›este Möglichkeit geben, die Hitze zu regulieren, d. h. die Ofenıickung so zu behandeln, wie es für das gute Gelingen des Brandes ; ist.

Aus den mikroskopischen Betrachtungen der Dünnschliffe im ıalen und polarisierten Licht kann der Hersteller von elektrischem ıspannungsporzellan viel Wichtiges entnehmen, da chemische ysen hier versagen. Auch die Behandlung des Scherbens mit säure gibt orientierenden Aufschluß. Ist ein Porzellan in seiner e gleichmäßig mit feinen Sillimanitkristallen durchsetzt, so zeigt dies, wenn eine solche Probe in 50proz. Flußsäure nur wenig anssen wird, weil die aus Quarzfeldspat erstarrte Schmelze viel ger widerstandsfähig gegen Flußsäure ist als Sillimanitkristalle.

Eine leichtere Beurteilung der Porzellanmasse, ob sie für Hochnungszwecke geeignet ist, gewinnt man dadurch wieder, wenn man die Masse in millionenfacher Vergrößerung vorstellt. Zunächst sucht man, ob Risse und Höhlungen vorhanden sind, welche durch eichmäßigkeit beim Brennen und Überfeuern entstehen. Sie sind eichen, daß zum mindesten der Sinterungsprozeß, von der Ersatze abgesehen, grob fehlerhaft ist. Blasenbildungen und Narben an Oberflächen können auch auf Mängel im Versatz zurückgeführt en.

Während bisher nur von den mineralischen Bestandteilen des Hartllans die Rede war, entdeckt man bei genügender Vergrößerung, Porzellanisolatoren auch Luft enthalten, und zwar durchaus nicht ringen Mengen. Ein nur verglühter Scherben, aus welchem die anisch vorhanden gewesene und die chemisch gebundene Feuchtigntwichen ist, stellt ein poröses Gebilde dar, in welchem das Innere biskuitartigen Körpers durch tausend feine und weniger feine le, welche untereinander zusammenlaufen, mit der Luft in Verıng stehen. Derartige Körner kommen für elektrische Isolierungs-

Bei Behandlung dieser keramischen Massen im Feuer des Glattbrandes bei ungefähr Segerkegel 16, ändert sich das Bild erheblich. Wohl erkennt man noch Lufträume, aber das weitere starke Schwinden bei erhöhter Temperatur hat diese Poren in ihrem Ausmaße vermindert. Vor allem ist aber eine sehr bedeutungsvolle Veränderung insofern eingetreten, als eine Verbindung des Porzellaninneren mit der umgebenden Luft nicht mehr vorhanden ist. Die Vorgänge des Flüssigwerdens von Feldspat, der Lösung von Silikaten darin und der Verschmelzung oder Verfrittung der Bestandteile zu einem Glas, welches überall feine Sillimanitkristalle enthält, hat zwar nicht zur Folge gehabt, daß sämtliche Luftbestandteile aus dem Porzellan ausgetrieben wurden, wohl aber, daß die früher vorhandenen Poren als solche verschwunden sind. Die luftgefüllten Kanälchen kommunizieren nicht mehr miteinander und nicht mehr mit der Luft, es sind mehr oder weniger umfangreiche, von der Umwelt gänzlich abgeschlossene Luftsäcke daraus geworden. Deshalb kann man auch aus Hartporzellan Gefäße herstellen, welche dauernd komprimierte Gase zu halten vermögen. Die Lufträume treten in den Dünnschliffen klar in Erscheinung, und zwar macht es den Eindruck, als ob sie bei Verwendung von Ströbelschem Flußspat und bei ungenügender Auflösung von Quarz besonders groß sind, dagegen bei Verschwinden der Quarztrümmer und einer gleichmäßigen Durchsetzung mit Sillimanitnadeln in geringerem Ausmaß und gleichmäßiger verteilt vorkommen.

Wie groß die Lufträume im Hartporzellan sind, kann man nur schätzen, weil die Bestimmung „Spez. Gewicht minus Raumgewicht" nicht hinreichend genau genug ist. Annähernd betragen die mit Luft erfüllten Räume 5—6 vH, bei einer ganz homogenen Porzellanmasse sinkt dieser Prozentsatz. Feinsteinzeug schließt ungefähr 8 vH Luft ein. Worüber wir aber gar keine Kenntnisse besitzen, ist die Art der Zusammensetzung dieser Luft in den Säcken und Hohlräumen. Bei der vorangegangenen Ofenhitze war eine Verdünnung eingetreten. Es kann sein, daß bei der Abkühlung und der Zusammenziehung der Masse die Verdünnung ganz oder teilweise ausgeglichen ist.

Daß Hochspannungsporzellan nicht porös sein darf, ist eine unbedingte Notwendigkeit und ohne weiteres klar. Ein poröser Scherben saugt gierig Feuchtigkeit auf, die leicht bis in die Mitte des durchlässigen Isolators gelangt. Auch eine Glasierung bedeutet bei porösen Isoliermaterialien nicht viel, weil immer schwache Stellen vorhanden sind. Unter der Wirkung des elektrischen Feldes greifen die anfänglich nur in geringer Menge vorhandenen Wasserstoff- und Hydroxylionen die rauhe keramische Masse an, es entstehen neue Ladungsträger. Das Zerplatzen des Isolators geht schnell vonstatten.

Auf Porosität des Scherbens hin prüft man in der Weise, daß die frischen Bruchstellen in eine Lösung von 1 vH Fuchsin, einem stark färbenden roten organischen Farbstoff, in Methylalkohol gelegt werden, indem man zugleich auf die Flüssigkeit einen mechanischen Druck von

dringen. Bei porösem Material ist die Masse durch und durch rot
vorden.

Schon wenn man einen Tintenstrich auf glasiertes Porzellan zieht,
d daraus Schlüsse auf dessen Beschaffenheit möglich. Eine schlecht
glaste Masse läuft aus.

Hinsichtlich der Zusammensetzung, welche ein gutes Hochspan-
ıgsporzellan haben soll, waren vorher die Untersuchungen von E.
win Urban angeführt. Mit absoluter Bestimmtheit können wir
och bisher noch nicht voraussagen, wie der eine oder andere Masse-
satz ausfällt, weil dabei der Ofenprozeß mit zu berücksichtigen ist.
ßerdem kommt es auf die schon besprochene Körnung und Mischung
Das Schlämmen stellt auch noch ungelöste Aufgaben dar. In einer
tersuchung, Beiträge zur besonderen Kenntnis des Hochspannungs-
zellans, abgedruckt in der Keramischen Rundschau 1924, Heft 38,
ıandelt K. H. Reichau die Frage der Zusammensetzung und des
nnens. Er kommt zum Ergebnis, daß dasjenige Porzellan auch
ktrisch das wertvollste ist, welches sich auch mechanisch am besten
gt, d. h. also ein Material, welches so homogen wie möglich ist.

Mit Reichaus Folgerung der Homogenität für die Herstellung
ı Porzellan für Hochspannungszwecke ist der Verfasser dieser Schrift
lständig einverstanden, weil bei einem Vergleich mit anderen Nicht-
ern der Elektrizität sich überall herausstellt, daß schon geringe
terschiede in der Dielektrizitätskonstanten der einzelnen Massebestand-
e bei Belastung mit hohen Spannungen Elektrizitätswanderungen
ch den Körper hervorrufen, welche zu Zerstörungen führen. Die
ichmäßigkeit der Struktur von Hochspannungsporzellan vertreten
lere Forscher ebenfalls, z. B. Urban und R. Rieke.

Letzterer weist in seinem Artikel „Die mikroskopische Prüfung
amischer Isoliermaterialien", Electro Journal 1924, S. 71 u. a. darauf
ı, daß größere Mengen von Quarz, welche nicht in der Feldspat-
melze aufgegangen sind, deshalb schaden, weil sie Fremdkörper von
ız anderen physikalischen Eigenschaften darstellen wie die Haupt-
sse des Porzellans. Sie liegen eingebettet in einer glasigen Schicht
d besitzen eine andere Wärmeausdehnung wie diese. Bei 575° C hat
e beträchtliche Volumenvergrößerung der Quarzsubstanz statt-
unden, welche sich beim Abkühlen entgegengesetzt auswirkt. Das
füge leidet mechanisch darunter. Dasselbe wird in dielektrischer
nsicht ebenfalls zutreffen.

Quarz ist wahrscheinlich derjenige Bestandteil des Hochspannungs-
rzellans, von welchem die guten mechanischen Eigenschaften ab-
ngen, sofern man es heraus hat, ihn in richtiger Weise und ent-
echender Menge mit den übrigen Mineralien aufzubereiten und zu
fritten. Mit der Höhe des Quarzzusatzes steigt die benötigte Ofen-
nperatur, was nicht angenehm ist. Mitgeteilt soll noch werden, daß
Gegensatz zu K. H. Reichau, welcher für die beste Hochspannungs-
rzellanmasse 35 vH SiO_2 vorschlägt, E. Rosenthal nur 22,5 vH SiO_2

In der Annahme, daß ein homogener Scherben, in welchem der Quarz in reichlichen Mengen vertreten ist und in der Flußspatschmelze in Lösung vorkommt und welcher überall feine Sillimanitkristalle gleichmäßig verteilt enthält, für Hochspannungszwecke das beste Porzellan ist, bleibt doch noch der Luftgehalt in der Masse zu bedenken. Überall, wo in elektrischen Isolierstoffen Lufteinschlüsse vorkommen, treten mit der Zeit Schäden in der Isolierung auf. Der Porzellanisolator stellt also eine Masse dar, in welchem scharfzackiges Mineral und Luft in vielerlei Form hintereinander geschaltet sind, so daß überall, wo sich Silikatsubstanz befindet, diese von Luftbläschen durchsetzt und umgeben ist.

Da selbst bei homogenstem Masseversatz in allen Fällen ein namhafter Luftbestandteil des Hochspannungsporzellans bestehen bleibt, ergibt sich die Frage, wie sich ein Porzellanisolator verhalten wird, wenn die Luft durch chemisch indifferente Gase, welche vor allen Dingen keine Sauerstoffionen bilden können, ersetzt ist. Die Affinität von Sauerstoff bzw. Ozon zu organischen wie anorganischen Körpern ist bedeutend, besonders unter dem Druck eines starken elektrischen Feldes. Einschlüsse von indifferenten Gasen werden vermutlich imstande sein, die Porzellansubstanz ganz erheblich widerstandsfähiger gegen einen Stromdurchgang zu machen.

Es ist also nach dem Verglühen das durch und durch poröse Porzellan an Stelle der Luft mit Kohlensäure, Stickstoff u. a. oder einem Edelgas zu sättigen und in solcher Gasatmosphäre glatt zu brennen. Man würde diese Versuche zunächst zweckmäßig an Platten durchführen, um das Material leicht prüfen zu können.

Insbesondere ist dann zu untersuchen, ob die von F. Haber in der Zeitschrift für anorganische Chemie, Bd. 59, S. 154, 1908 festgestellte Elektrolytnatur des Porzellans schon von 300° C an noch in derselben Weise erhalten bleibt. Haber und seine Mitarbeiter hatten gefunden, daß von derartigen Wärmegraden an, welche unter hohen Spannungen an Einzelstellen leicht auftreten können, das Faradaysche Äquivalenzgesetz gilt. Als Elektroden benutzte er Quecksilber.

Es ist von amerikanischer Seite versucht worden, den wirklich durch einen Isolator hindurchgehenden Strom zu messen. Aber es stellten sich hierbei erhebliche Schwierigkeiten ein. Jedenfalls ist die Stromstärke bei 10 kV Spannung und normaler Temperatur des Porzellankörpers gering. Stellt sich aber irgendwo, veranlaßt durch Spitzenwirkung, eine hohe Felddichte auf ein Nichtleiterteilchen ein, so ist zu fragen, wie die Bestandteile des Isolierstoffes unter der Wirkung des starken elektrischen Feldes aufeinander reagieren. Fehlt in der Masse der aktive Sauerstoff, läßt sich voraussagen, daß die Verhältnisse günstiger werden.

Die Anfertigung dicker Stoffe aus Hochspannungsporzellan hat ihre Grenzen. Beim Glattbrennen im Scharffeuer gelingt es nicht, die Porzellanmasse derart in allen ihren Teilen so gleichmäßig herzustellen, daß die mechanischen und dielektrischen Eigenschaften das Höchstmaß

ie Brenntemperatur wird von ihm leichter angenommen. Je dicker las Porzellanstück ist, um so schwieriger gestaltet sich wegen der eringen Temperaturleitfähigkeit der Masse ein gleichmäßiges Glatt-rennen. Aus diesem Grunde erfordern umfangreiche Scherben einen angsamen An- und Abstieg der Temperaturen. Die Prüfung der Eigenchaften eines starken Porzellanstücks gibt Aufschluß darüber, ob der Masseversatz auch im Ofen die richtige Behandlung erfahren hat. Ganz bereinstimmend im Stück ist die Zugfestigkeit und daher eine Span-ungslosigkeit bei Scherben von halbwegs größerem Umfang aber bis-er kaum zu erreichen.

Dieses Verhalten, zweifellos ein großer Mangel beim Porzellan, hat azu geführt, daß die großen Isolatoren für Hochspannung nicht aus inem einzigen Stück gebrannt werden, sondern aus Einzelteilen zu-ammengesetzt werden müssen. Außerdem sind die Metallarmaturen nit dem Porzellan zu verbinden. Wir kommen damit zur Kittfrage.

Wie man die leitenden und nichtleitenden Teile eines Isolators mit-inander vereinigt, ist Gegenstand zahlreicher Schriften geworden. Die ganze Angelegenheit soll hier nicht neu aufgerollt werden, da sie n Schering, Isolierstoffe der Elektrotechnik, Kap. 45, S. 214 nach-ulesen ist. Nachstehend wird lediglich zusammenfassend über das be-ichtet, was seitdem wieder neuerdings über die Permanitkittung be-annt wurde.

Der Sinn dieses Verfahrer
Porzellanfabrik Ph. Rosenthal & Co. A
Porzellanfabrik in Hennigsdorf gearbeitet wird, besteht darin, achster Weise Porzellan und Metall witterungsbeständig mitein u verbinden, ohne daß durch die Ausmessungen und Formen vo Armatur und Porzellan Bruchgefahr durch den Kitt auftritt. Mithin ann der Konstrukteur seine Isolatoren aus durchschlagsicheren Scher-en herstellen und durch die Formgebung der Rillen und dergleichen die nechanische Festigkeit nach Wunsch einrichten und den ganzen Auf-au des Isolators nach den Gesetzen der elektrischen Festigkeitslehre usammenbauen.

Die Permanitkittung besteht darin, daß durch Verwendung von ydraulisch abbindenden Stoffen, wie Zement, eine feuersichere, hoch itzebeständige Zwischenlage geschaffen ist, welche also nicht durch len Lichtbogen zu schmelzen oder zu verkohlen vermag. Damit die Treibwirkung oder sonstige chemische Veränderungen des Zements mit Sicherheit ausgeschlossen werden und eine elastische nachgiebige Schicht entsteht, werden dem Zement kolloidfeine Schmelzstoffe, wie Asphalte, künstliche oder natürliche Harze u. dgl. beigemischt. Nach ler Erhärtung wird der Isolator soweit erwärmt, daß die Asphalte chmelzen. Hierdurch füllen sich die Zementporen, und die Kittmasse st chemisch unveränderlich geworden. Die Schmelzstoffe werden so usgewählt, daß die Erhitzung der porenausfüllenden feuchtigkeit-bweisenden Kolloide bis zum Flüssigwerden auf ungefähr 150° C vor-enommen wird. Die Erwärmung des Porzellans darf nicht zu hoch

A. Lottermoser, Professor für Kolloidchemie, beschäftigt sich in „Die Kolloide und ihre Bedeutung für die Technik“ mit der Kittung von Porzellanisolatoren und führt aus, daß die Sprengung des Scherbens nicht auf die verschiedenen Ausdehnungskoeffizienten von Porzellan und Zement zurückzuführen ist und daher auch nicht durch die Beimischung anderer Substanzen, wie z. B. von geschmolzenem oder zerkleinertem Quarz zwecks Anpassung des Ausdehnungskoeffizienten des Zements an den des Porzellans verhindert werden kann. Daß die Hoffnung, auf diese Weise die Sprengschäden zu beseitigen, sich nicht erfüllen konnten, liegt daran, weil sie auf einer falschen Voraussetzung beruht. Bei dem Abbindungsprozeß von Zement entstehen zuerst durch die Einwirkung des Wassers auf die Zementkörperchen äußerst feine Kristallnadeln verschiedener Kalziumverbindungen, namentlich von Trikalziumaluminat, welche eine Art Filz hervorrufen und wegen ihrer langsamen Bindung gedrungenere Kristalle von Kalziumhydroaluminat mit einschließen. Dies würde der ersten Abbindung entsprechen, die aber noch kein hydraulisches Bindemittel ergibt. Vielmehr folgt auf diese Kristallisation eine plötzliche Ausscheidung von Kalziumhydrosilikat als Gel, also in gallertartiger Form, welche die vorher gebildeten Kristalle umschließt und verkittet und dann durch die nicht bis ins Innere in Reaktion getretenen Zementkörnchen einer Entwässerung unterliegt, die bis zur vollkommenen Erhärtung fortschreitet. Man sieht, daß also im Innern des Zements sich Reaktionen abspielen, welche sehr lange Zeit, wenn auch langsam, immer weiter fortschreiten. Es ist deshalb auch kein Wunder, daß der Zement noch lange arbeitet, namentlich dann, wenn Wasser zu ihm Zutritt findet.

Endlich ist ein voller Erfolg eines raumbeständigen Zements durch das Permanitverfahren erzielt, indem man dem Zement die Möglichkeit langdauernder Reaktionen im Innern genommen hat. Dies wird dadurch erreicht, daß man Zement, dem Pech in feinster Vermahlung zugesetzt worden ist, mit Wasser anmacht, bis zu einem bestimmten Grade erhärten läßt und dann durch Temperaturerhöhung das Pech im Innern zum Schmelzen bringt. Damit wird das ganze Gelgerüst mit dem Pech so durchzogen, daß eine spätere chemische Reaktion im Innern, auch bei äußerer Wassereinwirkung, und damit ein Treiben des Zements unmöglich werden.

Während die vorher wörtlich wiedergegebenen Lottermoserschen Arbeiten sich auf chemischem Gebiet bewegen, beruhen die Untersuchungen von E. Rosenthal auf physikalischen Messungen in „Die Lösung des Kittproblems im Isolatorenbau“, ETZ 1924, Heft 15, S. 333 und AEG-Mitt. 1924, Heft 3, und ferner von E. Rosenthal und H. Luftschitz „Neue Erkenntnisse über den Erhärtungsprozeß des Zements und dessen Anwendungen auf den Isolatorenbau“, Mitt. d. V. d. E. W. 1924, Nr. 358. Ferner berichten die Rosenthal-Mitteilungen Heft 4 über die Lösung des Kittproblems im Isolatorenbau durch die Anwendung der Permanitkittung. Das Verhalten des Zements in bezug auf Ausdehnung und Schwindung, ebenso des quarzgemagerten Zements und des Permanit-

n Zahlentabellen und Kurvenblättern belegt. Während Zement
uarzgemagerter Zement dauernden Raumänderungen unterworfen
ist bei Permanitzement eine Volumenvergrößerung ausgeschlossen.
ı. Bültemann berücksichtigt in seiner Arbeit „Permanitgekittete
oren", ETZ 1924, Heft 39, die Art der chemischen Vorgänge bei
bbindung und Erhärtung von Zement und erklärt die Sprengung
herbens. Die Abbindung und Erhärtung von kalkhaltigen hydrau-
erstarrenden Stoffen, wie Zement, stellt man sich in der Haupt-
so vor, daß kolloidales Kalkhydrosilikat, sowie in geringeren
en Kalkhydroaluminat und Kalkhydroferrit entstehen. Das
de Hydrogel geht dann in ein äußerst wasserunlösliches festes
iber, welches die Zementteilchen dicht umschließt. Diese Um-
ıgen, die Bildung von molekularem Kalkhydrosilikat aus der
dalen Form, kommen in ihrer Größenordnung nie zur Ruhe, weil
Temperatur- und Feuchtigkeitsänderung ein neues Gleichgewicht
lert. Bei kolloiden Erscheinungen darf man keine stöchiometri-
Proportionen voraussetzen. Nach der Schwindung tritt die
ung auf, oft in starkem Maße, oft kaum merklich. Je härter der
ntkitt im Alter wird, mit um so größerer Gewalt wirkt er auf die
llanmasse, bis er sie sprengt. Ein Lackanstrich der Kittflächen
us dem Grunde keinen Erfolg gehabt, weil die chemischen Vor-
im Innern der Kittmasse nicht ausgeschlossen werden, die selbst
noch erheblich wirksam sind, wenn man die gekitteten Isolatoren
re Zeit einer Dampfatmosphäre aussetzt. Auch hier erfolgt Bruch.
Erhärtete, gemagerte und nichtgemagerte Zemente werden bereits
Anlegen von einigen Volt Spannung zersetzt, da sie Elektrolyte
Dagegen ist der nach dem Permanitverfahren verschmolzene
ntkitt ein Dielektrikum. Bei 10 kV konnten 10 mm dicke permanit-
ımolzene Zementplatten nach Wasserlagerung lt. Prüfungszeugnis
Prüfamts der Wirtschaftlichen Vereinigung d. E. W. nicht durch-
gen werden, der Widerstand war 18000 $M\Omega$. Bei zweistündigem
n im Wasserdampf nimmt dieser permanitverschmolzene Zement
-0,07 vH Feuchtigkeit auf, nach 24stündiger Wasserlagerung
-0,09 vH. Die hohe Wasseraufsaugefähigkeit von nichtgemagertem
gemagertem Zement ist allgemein bekannt.
Wie sehr der Zement durch die Pechverschmelzung seine Natur
dert hat, geht aus folgendem Verhalten hervor. Pulvert man ge-
lichen erhärteten Zement, so zerstört man dadurch die wasser-
liche Kalkhydrosilikatschicht und legt reaktionsfähige Zement-
r, die eingeschlossen waren, frei. Wird diese gepulverte Masse mit
er angemacht, so findet ein zweites Mal Abbindung und eine nam-
Erhärtung statt. Versucht man dasselbe mit Permanitzement, so
im Gegensatz zu vorher hier nicht mehr möglich, den Zement zum
ıden zu bringen. Er bleibt chemisch unwirksam. Dies ist erklär-
denn der Kohlenwasserstoff wird in kolloidfeinem Zustand, viel
wie der Zement gemahlen ist, zugesetzt und befindet sich daher
ınern der gelbildenden Teilchen. Das kolloidale Pech wird in die

Schmelzprozeß mit in der Quellmasse befindet. In Selb und in Hennigsdorf sind zur Herstellung permanitgekitteter Isolatoren große Anlagen geschaffen.

Weiter liegen Beiträge über das Permanitverfahren vor von H. Luftschitz, „Isolatorenkittung", Keramische Rundschau 1924, Heft 19 und von demselben Verfasser, „Die Lösung des Isolatoren-Kittproblems" Keramische Rundschau 1925, Heft 19. Die letzte Arbeit stellt eine Erwiderung dar auf einen Artikel „Über Zementkitte" im Elektro-Journal 1924, S. 304, von F. Gerold, welcher die Möglichkeit zuläßt, daß der Permanitkitt noch später gefährliche Änderungen zeigen kann und zur endgültigen Beurteilung eine hinreichend lange Bewährungsfrist abzuwarten ist. Dem gegenüber hat Luftschitz die Dehnungs- und Quellungserscheinungen und die Gewichtsänderungen an Zement, gemagertem Zement und Permanitzement, übersichtlich zusammengestellt, die Zunahme durch Feuchtigkeit, das Rückwachstum durch Feuchtigkeit und die kritischen Punkte des größten und kleinsten Volumens ermittelt und aufgeklärt, weshalb auch Isolatoren, welche mit Teleokitt, also Quarzzusatz zum Zement, gekittet wurden, gerissen sind. Die Untersuchungen erstrecken sich über vier Jahre und umfassen mehrere tausend Messungen. Als Ergebnisse belegen sie, daß die Verschmelzung des Zementes nach dem Permanitverfahren mit wasserabweisenden Mitteln, wie Pechen und Asphalten, die Sprengungen des Porzellanscherbens ausschließt.

Inzwischen sind mehrere Jahre hingegangen, seitdem Tausende von permanitgekitteten Isolatoren nicht nur in Gegenden mit gleichmäßigem Klima, sondern auch an südlichen und nördlichen Meeresküsten, auch auf Hochebenen mit schnell wechselnden Temperaturen wie in Spanien, in Tälern, in den Tropen von Afrika und Südamerika eingebaut. Nirgends sind durch den Kitt Permanit Zerstörungen der Isolatoren erfolgt.

Übrigens wird pechverschmolzener Zement seit acht Jahren waggonweise für elektrisch isolierende Körper hergestellt, bis zu Platten von 800 mm Länge. Würde die geringste Dissoziierung (chemische Veränderung) oder die allerkleinste Rissebildung sich mit der Zeit eingestellt haben, dann wäre die elektrische Festigkeit vernichtet. Es hat sich aber nichts derartiges gezeigt.

9. Die schwächste Seite dichtgebrannter keramischer Isolierstoffe ist ihre Sprödigkeit. Um zu beurteilen, ob eine Isolatorenkette den mechanischen Anforderungen im praktischen Betriebe genügt, kommt es nicht nur darauf an, zu wissen, wie groß die Zugfestigkeit des Porzellans, Melaliths oder Steatits ist. Auch die Kenntnis der Schlagbiegefestigkeit allein reicht hier nicht hin. Sondern, da eine Hängekette erheblichen Stößen ausgesetzt ist, muß man feststellen, welche Stöße ein keramischer Knüppel oder Strunk unter Zugbelastung aushält.

Seit einiger Zeit ist man bemüht, durchschlagsichere Isolatoren, also solche in Knüppelform, mit Hilfe eines zähen Nichtleiters von hoher Zugfestigkeit und Schlagbiegefähigkeit anzufertigen. Da aber

g wetterbeständig sind, Porzellan aber in dieser Beziehung unüber-
en ist, so hat man sich die guten Eigenschaften beider Stoffe zu-
e gemacht und ist bei der AEG zu dem sogenannten Verbund-
tor gelangt. Der Name soll nur andeuten, daß hier verschiedene
leiter der Elektrizität konstruktiv miteinander verbunden sind.
dem Knüppel aus imprägniertem Holz oder Hartpapier wird ein
Regenschutzglocken versehener Porzellanmantel gezogen, außerdem
der dadurch entstehende Zwischenraum mit einer isolierenden
ußmasse gefüllt. Diese Art Freileitungsisolatoren bedeuten also ein
anderes Prinzip in ihrer Bauart, wie diejenigen, welche zwischen
Elektroden ausschließlich Porzellan als Dielektrikum besitzen.
Standpunkt der elektrischen Festigkeitslehre ist diese Anordnung,
velcher sich die Elektroden nicht umhüllen, zweifellos vorteilhaft.
AEG berichtet von derartigen Verbundspannern für 220 kV, daß
ine Überschlagspannung von 620 kV und eine Zugfestigkeit von
0 kg aufweisen.

10. Die Eigenschaften von normalem Hochspannungsporzellan, wie
n Ph. Rosenthal & Co. A.-G. hergestellt wird, also nicht einer
deren Spezialmarke, sind die folgenden.

a) Die Zerreißfestigkeit K_z ist abhängig vom Querschnitt Q,
rdem von der Länge und der Form des Probestücks. Am günstigsten
alten sich zylindrische Stäbe. Die Länge des Einspannkopfes soll
lestens gleich dem halben Durchmesser der Probe sein.

Bei zylindrischen Stäben ergeben sich dann nachstehende Werte:

Q =	10	20	30	40	50	60 cm²
K_z =	370	335	315	295	275	265 kg/cm²

Bei Isolatoren mit Rippen und 1—2 Schirmen:

Q =	10	20	30	40	50	60 cm²
K_z =	265	240	220	205	190	182 kg/cm²

Bei besonders sorgfältig geleiteter Fabrikation erhöhen sich die
en Zahlen um ungefähr 10 vH. Der zu erreichende Höchstwert
glasierten zylindrischen Stäben von 50 cm² Querschnitt beträgt
380 kg/cm² herum.

b) Bei der Bestimmung der Biegefestigkeit K_b zeigt sich der
erschied zwischen Stäben und Isolatoren geringer. Die Streuung
gemessenen Werte ist beträchtlich und liegt in der Größenordnung
zu 100 vH. Man kann als gutes Mitte K_b = 500—600 kg/cm²
hmen.

Es sind aber auch Biegefestigkeiten von 1000 kg/cm² festgestellt.
Motorisolatoren wird eine Garantie für eine Biegefestigkeit von
kg/cm² übernommen.

c) Die Schlagbiegefestigkeit K_{Sch} an Rundstäben von un-
hr 300 mm Länge und einem Durchmesser von 75—85 mm beträgt
Mittel ungefähr 2,3 cm kg/cm².

d) Die elektrische Durchschlagsfestigkeit ist ermittelt an

förmigem Wechselstrom von 50 Per/s. Die Elektrodenflächen wurden aufgespritzt oder galvanisch verkupfert. Die Prüfspannung wird mit 1 vH je Sekunde gesteigert.

Plattendicke	1	2	3	4	5	6 mm
Durchschlagsspannung	35	55	75	90	110	150 kV
Spannungsdichte	35	27	25	23	22	21 kV/mm

Bis 150° C ist die Durchschlagsfestigkeit unabhängig von der Temperatur. Messungen mit Stoßspannungen ergeben um 5 vH höhere Werte.

e) Der Verlustwinkel δ ist annähernd unabhängig von Spannung und Schichtdicke: $\operatorname{tg} \delta = 0{,}012$.

f) Die Dielektrizitätskonstante ist 5,7—6.

g) Der Porenraum macht ungefähr 3—7 vH aus. Der Einfluß desselben auf die elektrische Festigkeit steht noch nicht fest. Es kommt dabei auf die Größe und die Menge der Lufträume an.

h) Beständigkeit gegen schroffe Temperaturwechsel. Komplizierte Formen halten schroffe Temperaturwechsel zwischen 100° C und 10° C aus, einfache Formen zwischen 100° C und 0° C. Erst bei plötzlichen Wärmeänderungen von 100° C auf —20° C haben sich z. B. bei Reichspostmodellen Risse in der Glasur gezeigt.

i) Die Porosität ist gleich Null, auch bei dem sehr hohen andauernden Flüssigkeitsdruck von 300 kg/cm².

XXIV. Schlußbetrachtungen.

Die elektrischen Isolierstoffe wurden, soweit es sich dabei um Materialfragen handelt, in den vorigen Kapiteln in ihren Hauptgruppen einer kritischen Beobachtung unterzogen.

Von der Elektrotechnik werden neuerdings wieder Isolationen verlangt, welche hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit über das bisher vorhandene Maß hinausgehen. Teilweise sind diese Forderungen noch durch geeignete Konstruktionen zu erfüllen. Aber es stellt sich immer häufiger heraus, daß die Formgebung allein, z. B. eine Verstärkung der isolierenden Schicht, nicht mehr die hinreichende elektrische Festigkeit gewährleistet. Uns befreit daher nichts von der Aufgabe, für die Hochspannungsanlagen Isolierstoffe zu schaffen, welche durchschlagsfester sind als bisher. Sollten wir dies nicht fertigbringen, wäre die unausbleibliche Folge eine Hemmung in der Entwickelung der elektrischen Technik in Deutschland.

Vor nicht zu langer Zeit lagen ähnliche Verhältnisse auf einem Gebiet der Eisenindustrie vor. Die Dampfmaschinentechniker und die Forscher in den chemischen Fabriken brauchten für die Ausführung ihrer neuen Ideen unbedingt Eisensorten, welche den vorhandenen in bezug auf Druckfestigkeit um eine ganz bedeutende Spannung überlegen sein mußten. Es hat sich zielbewußter deutscher Erfindergeist dahinter

uch nach den Vereinigten Staaten, Hochspannungskessel in einer früher icht für möglich gehaltenen Vollkommenheit. Der Wert von derrtigen Dampfkesseln in Längen von 18 m und mehr, welche 120 Atm.)ruck und darüber aushalten, ist ohne weiteres auch dem Nichtıchmann klar. Noch größere technische und wirtschaftliche Beeutung liegt in der Möglichkeit, daß wir durch die verbesserten Eisenorten chemische Prozesse unter hohen Drucken durchzuführen in der ıage sind.

Eine Verbesserung der elektrischen Isolierstoffe ist wohl von noch ıehr Faktoren abhängig wie die Veredelung der Metalle. An Wichtigeit für die verarbeitende Industrie sind weitere Kenntnisse in der echnologie der Nichtleiter wirtschaftlich von erheblich größerer Beeutung wie im Fall der Kesselbleche, da es sich bei den elektrischen solierstoffen nicht nur um ein Spezialgebiet handelt.

Es ist zunächst nicht einzusehen, weshalb eine Vervollkommnung er Dielektrika, und zwar in erheblicher Weise, nicht gelingen sollte, 'enn die erforderlichen Bedingungen hierfür geschaffen werden. Es estehen zum Glück noch viele Möglichkeiten, welche biser nicht ins Auge gefaßt sind.

In der vorliegenden Schrift ist versucht, nachzuweisen, daß bei er Fabrikation der Dielektrika eine erhöhte elektrische Festigkeit der solierstoffe erreichbar ist:

1. durch die Entziehung aller Feuchtigkeit vor der Behandlung er Mischung mit thermisch und elektrisch hochwertigen Bindemitteln,
2. durch die Entfernung der Lufteinschlüsse vor der Behandlung it diesen Bindemitteln,
3. durch Verschmelzen mit den kolloidfeinen Bindemitteln an telle einer Imprägnierung,
4. durch Herstellung einer bestmöglichen mechanischen Verischung aller Bestandteile des elektrischen Nichtleiters, so daß durch n Verschmelzungsprozeß und durch die Behandlung unter Druck oder ırch Sinterung u. a. ein einheitlicher Körper lben Dielektrizitätskonstanten.

Um diesen Forderungen zu genügen, hat man das gesamte moderne üstzeug der angewandten Chemie nötig. Vorschriften allgemeiner Art ssen sich nicht geben, weil in jedem einzelnen Fall noch reichliche euarbeit zu leisten ist und viele praktische Erfahrungen in den Beieben zu sammeln sind, um zum Ziel zu kommen.

Der Chemiker allein ist aber nicht in der Lage, nur von sich aus e Aufgabe zu lösen. Sondern dies ist nur möglich, wenn ihm Sachrständige aus der elektrotechnischen und physikalischen Wissenschaft ıd Technik zur Seite stehen, darunter sichere Meßtechniker. Es wäre ne Verschwendung, auf die Mitarbeit solcher Kreise zu verzichten und omöglich alle Untersuchungen selbst vorzunehmen. Natürlich sollen etriebsprüfungen und landläufige Messungen im Fabriklaboratorium ısgeführt werden, schon weil sie sofort vorhanden sein müssen und

Die Verbindung der Industrie mit wissenschaftlichen Instituten ist 1 diesem Fall deshalb zu pflegen, weil sehr viele Erscheinungen der soliertechnik erst in neuerer und neuester Zeit greifbare Formen an- enommen haben, teilweise auch soweit ab vom gewöhnlich betretenen Vege liegen, daß diese oft sehr bedeutsamen Forschungsergebnisse leicht ibersehen werden. Ich führe hier als Beispiel an, daß die Chemie der Kolloide in der Lage ist, viel zum Ausbau der Dielektrika beizutragen ind daß von den kolloidchemischen Instituten Arbeiten geleistet werden cönnen und müssen, für welche die Isoliertechnik das Stichwort zu geben hat. Eine Stelle, welche ausschließlich für die technische und virtschaftliche Vervollkommnung der elektrischen Isolierstoffe zu sorgen hat, hätte also z. B. die Aufgabe, die Lehren von der Oberflächen- energie der Stoffe für die Fabrikation von Hochspannungsnichtleitern nutzbar zu machen.

Weiter muß die Verbindung hergestellt werden zwischen der auf Verbesserung ihrer Fabrikate ausgehenden Isolierstoffindustrie und den Instituten, welche sich mit elektrolytischen und elektroendosmotischen Prozessen befassen. Die Elektrochemie hat in diesem Fall mit der Iso- liertechnik in besonders enger Fühlung zu stehen und gemeinsam an die hier auftretenden Probleme heranzutreten. Der Elektrochemiker wird z. B. im allgemeinen kaum über Einzelheiten unterrichtet sein, wenn es sich um die Einwirkung von Wechselströmen auf technische Dielektrika handelt, in welcher Weise z. B. die Überlagerung von Gleichstrom zu- stande kommt, wie sich in solchen Fällen hochfrequente Ströme ver- halten, welche Änderungen hinsichtlich der Polarität entstehen, wie sich die dielektrischen Verluste auswirken usw. Alle diese Vorgänge auf- zuklären, ist von außerordentlicher Bedeutung für die Isoliertechnik, denn die Zerstörung der dielektrischen Substanz hängt hiervon ab. Ehe wir die Stoffzersetzung nicht in ihrem qualitativen und quanti- tativen Verlauf erkennen, wird die Fabrikation von Nichtleitern in un- sicherem Schritt verbleiben.

Bei diesen Untersuchungen, welche die Veränderungen der Materie durch den Strom aufklären, ist dann unter anderem auch festzustellen, wie die Stromdichte lokale Erwärmungen der Stoffteilchen zustande bringt, und es ist herauszufinden, wie diese Temperatur mit der Stoff- zusammensetzung und der Art des elektrischen Feldes in Wechsel- beziehungen steht. Die Ionenbildung und die Ionen werden sich unter dem Druck hoher elektrischer Feldstärken wahrscheinlich zum Teil anders betätigen, wie wir jetzt annehmen.

Da wir elektrische Isolierstoffe in den mannigfaltigsten Stoffarten und Zuständen besitzen, gasförmige, flüssige, plastische, feste, anorgani- sche und organische usw. — sie sollen ihrer Menge halber nicht nament- lich aufgezählt werden —, so ergibt sich hieraus, daß für die eben be- rührten Fragen die verschiedenartigsten Berufskreise an der Lösung der Aufgaben teilzunehmen haben, denn ein Keramiker pflegt nicht zugleich für Transformatoren- und Schalteröle zuständig zu sein, eben-

ır schnelles Vorwärtskommen ist hier, daß nicht etwa das eine
ebiet nach dem anderen aufgeschlossen wird, sondern daß von einer
wa vorhandenen Stelle für Isoliermaterialien sofort sämtliche in
rage kommenden Arten der Nichtleiter zugleich bearbeitet werden.
urch die sofort alle Isolierstoffe umfassende Inangriffnahme ent-
ehen infolge der Verschiedenartigkeit der Dielektrika wertvolle Ver-
eichsmöglichkeiten. Im übrigen ist im Hinblick auf die Dringlichkeit
s Gegenstandes erforderlich, daß zur Beseitigung der in den Betrieben
ıftretenden Schwierigkeiten alle staatlichen Einrichtungen, die irgend
Betracht kommen, herangezogen werden.

Während sonst derartige Arbeiten vom Elektrotechniker in die
and genommen und geleitet werden, ist es hier zweckmäßig und direkt
forderlich, daß eine chemische Führung stattfindet. Denn es darf
cht übersehen werden, daß das sogenannte chemische Gefühl bei
aterialfragen wie den vorliegenden stark mitspricht. Die Arbeit des
eßtechnikers ist selbstredend von großer Notwendigkeit.

Nur auf diese Weise, so scheint es dem Verfasser, ist dem schwie-
gen Gebiet beizukommen. Dabei sind wirtschaftliche Gesichtspunkte
fort mit zu berücksichtigen. Vor allem ist dahin zu wirken, daß die
hl der unnötigen Fabrikationserzeugnisse verschwindet und wir zu
stimmten Typen gelangen, welche dann in zweckmäßiger Form und
eiswürdig für die Elektrotechnik lieferbar sind.

Bei den in Forschungsinstituten sowie in den Betrieben vorzu-
hmenden Arbeiten ist den mikroskopischen Feststellungen und
n Untersuchungen mit Röntgenstrahlen mehr Beachtung als bis-
r zu schenken. Nicht nur in der Keramik, sondern auch auf dem
biet der Hochspannungspreßstoffe erweisen sich optische Analysen
vorteilhaft. Auch ist in größeren vielseitigen Betrieben der elek-
schen Isoliertechnik aus Gründen der Verbilligung der Fabrikate zu
üfen, inwieweit Abfallprodukte der einen Abteilung noch in einer
deren nutzbringend verwendet werden können.

Anzunehmen ist, daß in geschlossenen Räumen die mit Hilfe
n Fasern herstellbaren Preßmassen in den Hochspannungsanlagen
ır bald eine Vorzugsstellung einnehmen werden, weil hier die erste
ıssicht besteht, die dielektrischen, thermischen und mechanischen
genschaften erheblich zu verbessern. Die Aufgabe des Chemikers
es u. a., in diesem Falle dafür besorgt zu sein, daß die elektrische
stigkeit bei stärkeren Dimensionen der Stücke annähernd in dem-
lben Maße erreicht wird, wie sie dieselbe Masse bereits in dünneren
andungen besitzt. Da die Meßtechniker festgestellt haben, daß
schichtete Nichtleiter besonders hohe dielektrische Verluste, eine
rminderte Durchschlagsfestigkeit und sonstige ungünstige Eigen-
ıaften zeigen, hat der Chemiker hieraus die Schlußfolgerung zu ziehen.
e lautet: es ist ein Material herzustellen, welches keine nennenswerten
hichtungen oder schädlichen Einschlüsse mehr aufweist.

Im übrigen ist bei allen diesen Fragen der elektrisch isolierenden
ıstoffe heute stets in Betracht zu ziehen, daß sie für die Elektrotech-

auf an, daß die einzelnen Werke durch Herstellung von mittelmäßigen Fabrikaten am Jahresende gut abschneiden, sondern daß unsere Weltwirtschaft technisch auf der Höhe bleibt. Dieser Gesichtspunkt und eine hochentwickelte Isolierstoffindustrie sind keineswegs unvereinbar. Im Gegenteil, eine Belebung der Arbeiten in den Betrieben wird uns zu dem erstrebten Ziele führen.

Zum Schluß sollen E. Orlichs Ansichten wiederholt werden, welcher ausspricht, daß im Hinblick auf die vorliegenden Schwierigkeiten die zahlreichen Bestrebungen und Arbeiten auf diesem Gebiet wohl anzuerkennen sind. Aber erst dann, wenn eine Mitarbeit zahlreicher Hilfskräfte und engste Zusammenarbeit von Wissenschaft und Praxis ermöglicht ist, können die großen Aufgaben gelöst werden, die uns hier entscheidend vorwärtsbringen.

XXV. Literaturnachweis.

Auf einige früher erschienene deutsche und amerikanische Bücher)er elektrische Isolierstoffe soll nicht zurückgegriffen werden, da diese zwischen vollkommen veraltet sind.

Literaturangaben älteren Datums sind aus den nachfolgend angeführten əhrbüchern zu ersehen. Vornehmlich sollen nachher nur die neuesten eröffentlichungen aufgezählt werden. Einige konnten im Text dieser chrift keine Berücksichtigung mehr finden, da sie nach Druckgung erschienen sind.

Die erste zusammenfassende Aufstellung von Literaturangaben findet ch in Anschluß an eine Veröffentlichung von A. Schwaiger: Über elekische Isoliermaterialien, Helios 1921, Nr. 25, 26 u. 27 und enthält 'l Quellenbezeichnungen.

Lehrbücher.

chwaiger, A.: Elektrische Festigkeitslehre. Zweite Auflage des Lehrbuches der elektrischen Festigkeit der Isoliermaterialien. Mit 448 Textabbildungen, 9 Tafeln und 10 Tabellen. Berlin: Julius Springer 1925.

Zu jedem der 15 Kapitel über das elektrische Feld, den Durchschlag, ine Berechnung an verschiedenen Konstruktionsformen, den Überschlag, e Funkenstrecken, die elektrischen Leitungen, die Hochspannungswickngen, die Hochspannungsisolatoren und die Errichtung eines Hochspanıngsversuchsraumes sind im Anhang Forschungsarbeiten namhaft gemacht.

chering, H.: Die Isolierstoffe der Elektrotechnik. Vortragsreihe, veranstaltet von dem Elektrotechnischen Verein E. V. und der Technischen Hochschule Berlin. Hrsg. im Auftrage des Elektrotechnischen Vereins E. V. Mit 197 Abbildungen im Text. Berlin: Julius Springer 1924.

Inhalt: 1. K. W. Wagner, Theoretische Grundlagen. — 2. K. Geisler, atürliche Isolierstoffe, Marmor, Schiefer, Asbest, Holz. — 3. R. Schröder, limmer und Glimmerprodukte. — 4. W. Weicker, Keramische Isolieroffe. — 5. A. Bültemann, Preßstoffe, Plastische Stoffe, Papier und espinste. Technologisches aus dem Gebiet der elektrischen Isolierstoffe. — H. Jaehn, Gummi, Guttapercha und Balata. — 7. A. Eichengrün, ellonlacke als elektrische Isoliermaterialien. — 8. F. Frank, Das Mineılöl. — 9. H. Schering, Die Prüfung der Isolierstoffe.

Die Ausführungen bringen reichliche Literaturquellen als Fußnoten.

ünther-Schulze, A.: Über die dielektrische Festigkeit. Mit 41 Abbildungen. München: Kösel & Pustet 1924.

Das Buch behandelt die dielektrische Festigkeit von gasförmigen, üssigen und festen Körpern, ferner dielektrische Verluste und dielektrische achwirkung. Im Anhang befindet sich ein wertvolles, geordnetes Literaturerzeichnis, welches 262 Nachweise bringt.

emuth, Walter: Die Materialprüfung der Isolierstoffe der Elektrotechnik. 2. Aufl. Berlin: Julius Springer 1925.

F. Elektrochemie wässeriger Lösungen. Leipzig: Joh. Ambros

Koehler u. Graefe: Die Chemie und Technologie der natürlichen und künstlichen Asphalte. Braunschweig: Vieweg & Sohn.
Nernst, W.: Theoretische Chemie. Stuttgart: Enke.
Ostwald, W.: Grundriß der Allgemeinen Chemie. Leipzig: Engelmann.
Schumann, W. O.: Elektrische Durchbruchsfeldstärke von Gasen. Berlin: Julius Springer 1923.
Thomson, J. J.: Elektrizitätsdurchgang in Gasen. Übersetzt von E. Marx. Leipzig: B. G. Teubner 1906.
Fischer, F.: Einführung in die Hochspannungstechnik. Göschen 1918.
Kock, F.: Die Keramik im Dienste der Elektrotechnik. Braunschweig: Vieweg & Sohn.
Benischke, G.: Die Porzellanisolatoren. Berlin: Julius Springer 1921.
Herzog, A.: Mikrophotographischer Atlas der technisch wichtigen Faserstoffe.
Vorschriftenbuch des Verbandes Deutscher Elektrotechniker. 13. Aufl. Berlin: Julius Springer 1926.

Im vorangegangenen Buchtext sind die Vorschriften für die Prüfung elektrischer Isolierstoffe sowie die Vorschriften für Transformatoren- und Schalteröle angeführt, und zwar in vollständiger Weise, da dies für das Verständnis der Ausführungen notwendig ist. In den Vorschriften, Regeln, Normen und Leitsätzen, welche vom Generalsekretariat des VDE nach dem Stande vom 31. Dezember 1925 zusammengestellt sind, befinden sich ferner an vielen Stellen Angaben über elektrisch nichtleitende Stoffe, z. B. in den Errichtungsvorschriften, den Vorschriften für Schlagwetterschutzvorrichtungen, für elektrische Anlagen in der Landwirtschaft, für Porzellanisolatoren, für Kabel, für isolierte Leitungen u. a.

Für die Sitzungen der Studiengesellschaft für Höchstspannungen am 22. u. 23. März 1926 in Wiesbaden haben Mathias und Fitger ein umfangreiches Literaturmaterial unter der Bezeichnung: Technische Mitteilungen Nr. 13 zusammengestellt, welches für die einzelnen Verwendungszwecke der Dielektrika unterteilt ist. Es sind ungefähr 400 Nachweise bekanntgegeben.

Bohr, Niels: Über den Bau der Atome. Berlin: Julius Springer 1925.
Greinacher, H.: Über die Konstitution der Elektrizität. Antrittsvorlesung. Bern: Paul Haupt 1925.
Büsing, F. W., und C. Schumann: Der Portland-Zement. Berlin: Verlag der Deutschen Bauzeitung G. m. b. H.
Krais, P.: Handwörterbuch der Werkstoffe. Leipzig: Joh. Ambros. Barth.
Schreiber, K. A.: Materialprüfungsmethoden im Elektromaschinen- und Apparatebau. Das Buch enthält u. a. Methoden zur Untersuchung von elektrischen Nichtleitern. Stuttgart: Enke.
Seligmann u. Ziecke: Handbuch der Lack- und Firnisindustrie.
Singer, Felix: Die Keramik im Dienste von Industrie und Volkswirtschaft. Braunschweig: Vieweg & Sohn.
Wolff, H.: Die Harze, Kunstharze, Firnisse und Lacke. Leipzig: Göschen 1921.

Eine „Elektrowarenkunde" von Prof. Dr. O. Edelmann (Nürnberg), welche auch die Isolierstoffe mit behandelt, befindet sich in Bearbeitung.

Einzelarbeiten.

Vom Telegraphentechnischen Reichsamt sind folgende Veröffentlichungen auf diesem Gebiet herausgekommen:

1. Schuler, Vergleichende Messungen an Systemkabeln. Mitt. a. d. T. V. A. Bd. 4. 1900–08.
2. Jordan, H.: Messungen dielektrischer Verluste an faserigen Isolier-

3. Wagner, K. W.: Zur Messung dielektrischer Verluste mit der Wechselstrombrücke. Mitt. Bd. 6, 1910—12; ETZ 1911, S. 1001—02.
4. — u. A. Wertheimer, Über genaue Messungen des dielektrischen Verlustwinkels und der Kapazität mit der Wechselstrombrücke, sowie über die Bestimmung der Phasenfehler von Widerständen. Mitt. Bd. 7, 1912—14; Phys. Z. 1912, S. 368ff.
5. — Die Messung dielektrischer Ableitungen und Kapazitäten mehradriger Kabel mit Wechselstrom. Mitt. Bd. 7, 1912—14; ETZ S. 635.
6. — Zur Theorie der unvollkommenen Dielektrika. Ann. Phys. 1913 (4) 40, S. 817.
7. — Theorie der dielektrischen Nachwirkung. ETZ 1913, S. 1279.
8. — Erklärung der dielektrischen Nachwirkung auf Grund Maxwellscher Vorstellungen. A.f.E. Bd. 2, S. 371. 1914.
9. — Dielektrische Eigenschaften von verschiedenen Isolierstoffen. A.f.E. Bd. 3, S. 67. 1914.
0. Untersuchungen von Hartgummiersatzstoffen, Teil I u. II. Dienstvorschriften der PTR 1916.
1. Meyer, U.: Dielektrische Eigenschaften von künstlichen Isolierstoffen. Sonderdrucke. Berlin: Julius Springer.
2. — Zur Theorie der dielektrischen Nachwirkung. Verhandl. d. Phys. Ges. 1917. S. 117.
3. Lange, F.: Neuere Ergebnisse von Systemkabelprüfungen. ETZ Jg. 38, S. 441. 1917.
4. Lübben, E.: Dielektrische Eigenschaften der Kabelpapiere. A.f.E. Bd. 10, S. 283. 1921.
5. Meyer, U.: Über Gleichstrommessungen der Kapazität und des Isolationswiderstandes. Mitt. a. d. T.R.A. Bd. 10. Tel.- u. Fernspr.-Techn. XI, Jg. 11.
6. Wagner, K. W.: Der physikalische Vorgang beim elektrischen Durchschlag von festen Isolatoren. Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss., Phys.-Math. Klasse, Stück XXIX, S. 438. 1922.
7. Meyer, U.: Ableitungsmessungen. ETZ 1923, S. 779.
8. — Verlustmessungen an Kondensatoren. Fernmeldetechnik 1923, S. 1.
9. — Die Isolierstoffe in der Fernmeldetechnik. El. Journ. 1924, S. 177.

'irani, M., u. C. Lax: Beobachtungen über Spitzenentladungen in Stickstoff. Wissenschaftl. Veröffentlichungen aus dem Siemenskonzern, Bd. 1, H. 1.

)rago, A. C., u. J. K. Hodrette: Korona unter Öl. J. Am. Electr. Engs. Bd. 44, S. 219; Ref. ETZ 1925, S. 1490.

Iarding, Francis C.: Glimmverluste an Hochspannungsleitungen. J. Am. Electr. Engs. Oct. 1924, S. 932; Ref. ETZ 1925, S. 740.

Vhitehead, J. B.: Korona als Überspannungsschutz. J. Am. Electr. Engs., Oct. 1924, S. 914; Ref. ETZ 1925, S. 896.

Vilkins, Roy.: Koronaverluste. J. Am. Electr. Engs. Bd. 43, S. 1109; Ref. ETZ 1925, S. 967.

,ee, F. W., u. B. Kurrelmayer: Über Koronaspannung für verschiedene Gase bei geringen Drucken. J. Am. Electr. Engs. 1925, S. 18; Stellungnahme dazu von W. O. Schumann, ETZ 1926, S. 39.

Ieues über Salpetersäure aus Luft. Ref. ETZ 1925, S. 1008.

,ottermoser, A.: Die Kolloide und ihre Bedeutung für die Technik. Verbandsmitt. Dresden 1924, H. 15, 16 u. 17.

'rey, F.: Über Büschellichtschlieren. Phys. Z. 1922, S. 193.

Iöller, E.: Über die Abhängigkeit des dielektrischen Verlustwinkels und der Dielektrizitätskonstanten von der Frequenz bei Paraffin, Hexan, Xylol, Quarz, Porzellan, Hartpapieren, Preßspan und einem ionisierten Luftkondensator. A.f.E. Bd. 15, S. 16. 1925.

wer, W. D.: Durchschlagsfestigkeit von Isoliermaterialien. The Electrician

Clark, F. W., u. V. M. Montsinger: Durchschlagsfestigkeit von faserigen Isolierstoffen bei veränderlicher Schichtstärke. Gen. El. Rev. Bd. 28, S. 286. Ref. ETZ 1926, S. 346.
Marbury, Ralph E.: Ein neues Verfahren zur Messung der dielektrischen Absorption. J. Am. Electr. Engs. Bd. 44, S. 719. 1925. Ref. ETZ 1926, S. 311.
Coolidge, W. D.: Über schnelle Elektronenstrahlen in freien Lufträumen. Science Bd. 11. 1925. Ref. ETZ 1926, S. 169.
Born, M.: Über Atomtheorie. ETZ 1924, S. 889.
Goebeler, E.: Über die dielektrischen Eigenschaften der Luft und einiger festen Isoliermaterialien bei hochgespannter Hochfrequenz. A. f. E. Bd. 14, S. 491. 1925.
Burmester, A.: Die Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten keramischer Massen. A. f. E. Bd. 13, S. 146. 1924.
Grünewald, F.: Das Verhalten der Freileitungsisolatoren unter der Einwirkung hochfrequenter Schwingungen. ETZ 1921, S. 1377.
Bucksath, W.: Allgemeine Theorie der Reflexionen von Wanderwellen und ihre Anwendung auf die Stoßprüfung von Porzellanisolatoren. ETZ 1923, S. 1021.
Marx, E.: Versuche und Massenprüfungen mit der Stoßprüfanlage. Mitt. d. Hermsdorf-Schomburg Isolatoren G. m. b. H. 1924, H. 10.
— Versuche über die Prüfung von Isolatoren mit Spannungsstößen. ETZ 1924, S. 652.
Toepler, M.: Stoßspannung, Überschlag und Durchschlag bei Isolatoren. ETZ 1924, S. 1045.
Binder, L.: Untersuchungen über die Vorgänge bei der elektrischen Stoßprüfung. ETZ 1925, S. 137.
Rochow, H.: Über einige Fragen der elektrischen Festigkeitslehre. A. f. E. Bd. 14, S. 361. 1925.
Klemm, A.: Anfangsspannung und Durchbruchsfeldstärke von Kugelelektroden bei Gleichspannung. A. f. E. 1923, S. 553. Ref. ETZ 1924, S. 59.
Schumann, W. O.: Über das Minimum der Durchbruchsfeldstärke bei Kugelelektroden. A. f. E. Bd. 12, S. 593. 1923.
Löber, H.: Anfangsspannung und Durchbruchsfeldstärke von parallelen Zylinderelektroden. A. f. E. Bd. 12, S. 593. 1923.
Dieterle, R.: Die Durchschlagsspannung fester Isolierstoffe. ETZ 1925, S. 329.
Gabler, H.: Über den Zusammenhang zwischen Strom und Spannung in festen Dielektrizis. A. f. E. Bd. 14, S. 406. 1925.
Zschaage, W.: Nachahmung des elektrischen Feldes von Leitungen im elektrolytischen Trog. ETZ 1925, S. 1215.
Lohaus, O.: Nachweis einer Polarisationserscheinung bei der Elektrizitätsleitung in dem doppeltbrechenden Nitrobenzol. Phys. Z. 1926, S. 217.
Blüh O.: Neuere Ergebnisse auf dem Gebiete der Dielektrizitätskonstanten. Phys. Z. 1926, S. 226. (Mit 172 Literaturausgaben seit 1912.)
Shrader, I. E.: Leitfähigkeit von Isolierstoffen in der Nähe ihrer Durchschlagsspannungen. Phys. Rev. Bd. 17, S. 234–50.
Schumann, W. O.: Über Versuche zur Natur des Durchschlages. Z. techn. Phys. 1925, S. 439.
Rogowsky, W.: Der Durchschlag fester Isolatoren. A. f. E. Bd. 13, S. 153. 1924.
Kármán, v.: Das thermisch-elektrische Gleichgewicht fester Isolatoren. A. f. E. Bd. 13, S. 174. 1924.
Berger, K.: Der Wärmedurchschlag fester Isolierstoffe. BBC-Mitt. 1926, S. 115.
Forster, A.: Über einige einfache Fälle von Bewegung unter der Wirkung

chiller, H.: Über das Verhalten von Dielektriken bei hohen Feldstärken. Z. techn. Phys. Bd. 11, S. 588. 1925.
ünther-Schulze, A.: Der Mechanismus der Glimmentladung. Z. techn. Phys. 1925, Heft 9, S. 446.
jerrum, Niels: Die Verdünnungswärme einer Ionenlösung in der Theorie von Debye und Hückel. Zugleich ein Beitrag zur Theorie der Wärmeeffekte in einem Dielektrikum. Z. Phys. Chem. Bd. 119, H. 3/4. 1926.
ack, H.: Über die Dielektrizitätskonstante von Elektrolytlösungen. Phys. Z. 1926, Nr. 7, S. 206.
ehlhoff, G., u. M. Thomas: Über das elektrische Leitvermögen von Gläsern. Z. techn. Phys. Bd. 10, S. 544. 1925
arburg, E.: Über die Elektrolyse des festen Glases. Ann. Phys. Bd. 21, S. 622. 1884; Phys. Ber. Bd. 17, S. 193. 1884.
egetmeier, W.: Über die elektrolytische Leitung des Glases und des Bergkristalls. Ann. Phys. Bd. 41, S. 18. 1890.
irani, M., u. H. Schönborn: Die Bestimmung der elektrischen Durchschlagsfestigkeit von Gläsern und keramischen Stoffen. Z. techn. Phys. Bd. 7a S. 351. 1925.
mbronn, R.: Über die elektrische Leitfähigkeit von Natron-Kalk-Silikatgläsern. Ann. Phys. Bd. 58, S. 139. 1919.
eurer, H.: Ein Fortschritt in der Technik der Hochspannungskabel. Z. techn. Phys. Bd. 9, S. 472. 1925.
ulebakin, V. S.: Über Messung von Kapazitäten mittelst Kathodenröhren. ETZ 1925, S. 923.
autenfeld, F. v.: Elektrizitätsleitung in Steinsalz und Kalkspat bei hohen Temperaturen. ETZ 1925, S. 344.
achron, Karl B. Mac: Photographische Aufnahmen von Hochspannungsentladungen. J. Am. Electr. Engs. Bd. 42, S. 1045. Ref. ETZ 1925, S. 354.
acobi, G.: Das Dielektrikum im Lichte der neuen Atomvorstellung. ETZ 1924, S. 977.
wicky, F.: Atomtheorie des festen Zustandes. ETZ 1925, S. 992.
chantz, C.: Materialuntersuchungen mittelst Röntgenstrahlen. ETZ 1926, S. 414.
arger, I., u. E. Schmidt: Über die Dehnung von Einzelfasern und Haaren. Z. techn. Phys. Bd. 4, S. 124. 1925.
aterialuntersuchungen mit Röntgenstrahlen. Mitt. Nr. 11 aus dem Arbeitsgebiet der Koch & Sterzel A.-G., Dresden. Mit 49 Literaturangaben.
ebauer, C.: Kugeldruckprüfer für elektrische Isolierstoffe. Bayr. Landesgew.-Anstalt Nürnberg.
iedmann, G.: Die Röntgenstrahlen und ihre Anwendung. Dresdner Verbands-Mitt. 1925, S. 192.
oyes, B.: Die Widerstandsänderung von Kohle und Graphit mit der Temperatur. Phys. Rev. Bd. 24, S. 190. Ref. ETZ 1926, S. 48.
entschel, L.: Über das dielektrische Verhalten ölgetränkter Papiere. A.f.E. Bd. 15, S. 138. 1925.
androwsky, Hermann: Wasserdichtmachen von Papieren. Papier-Ztg. 1915, Nr. 23—31.
rof. Möller: Die Unterscheidungsmerkmale und Verfahren zur Erkennung und Bestimmung der Rohstoffe in den Textilerzeugnissen. Verlag der Textilzeitschrift „Der Spinner und Weber."
erzog, R. O.: Fortschritte in der Erkenntnis der Faserstoffe. Z. angew. Chem. 1926, S. 297.
rbanus, W.: Wege und Ziele auf dem Gebiete der elektrischen Isolierungsmaterialien. Kunststoffe Jg. 15, H. 11.
ültemann, A.: Faserstoffe der Elektrotechnik. Elektro-Journal 1924, S. 173.
etzow, U.: Über einige elektrische Eigenschaften verschiedener Zellulosepapiere. Kunststoffe 1924, S. 20.

Clark, F. W., u. V. M. Montsinger: Durchschlagsfestigkeit von faserigen Isolierstoffen bei veränderlicher Schichtstärke. Gen. El. Rev. Bd. 28, S. 286. Ref. ETZ 1926, S. 346.

Marbury, Ralph E.: Ein neues Verfahren zur Messung der dielektrischen Absorption. J. Am. Electr. Engs. Bd. 44, S. 719. 1925. Ref. ETZ 1926. S. 311.

Coolidge, W. D.: Über schnelle Elektronenstrahlen in freien Lufträumen. Science Bd. 11. 1925. Ref. ETZ 1926, S. 169.

Born, M.: Über Atomtheorie. ETZ 1924, S. 889.

Goebeler, E.: Über die dielektrischen Eigenschaften der Luft und einiger festen Isoliermaterialien bei hochgespannter Hochfrequenz. A. f. E. Bd. 14, S. 491. 1925.

Burmester, A.: Die Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten keramischer Massen. A. f. E. Bd. 13, S. 146. 1924.

Grünewald, F.: Das Verhalten der Freileitungsisolatoren unter der Einwirkung hochfrequenter Schwingungen. ETZ 1921, S. 1377.

Bucksath, W.: Allgemeine Theorie der Reflexionen von Wanderwellen und ihre Anwendung auf die Stoßprüfung von Porzellanisolatoren. ETZ 1923, S. 1021.

Marx, E.: Versuche und Massenprüfungen mit der Stoßprüfanlage. Mitt. d. Hermsdorf-Schomburg Isolatoren G. m. b. H. 1924, H. 10.

— Versuche über die Prüfung von Isolatoren mit Spannungsstößen. ETZ 1924, S. 652.

Toepler, M.: Stoßspannung, Überschlag und Durchschlag bei Isolatoren. ETZ 1924, S. 1045.

Binder, L.: Untersuchungen über die Vorgänge bei der elektrischen Stoßprüfung. ETZ 1925, S. 137.

Rochow, H.: Über einige Fragen der elektrischen Festigkeitslehre. A. f. E. Bd. 14, S. 361. 1925.

Klemm, A.: Anfangsspannung und Durchbruchsfeldstärke von Kugelelektroden bei Gleichspannung. A. f. E. 1923, S. 553. Ref. ETZ 1924, S. 59.

Schumann, W. O.: Über das Minimum der Durchbruchsfeldstärke bei Kugelelektroden. A. f. E. Bd. 12, S. 593. 1923.

Löber, H.: Anfangsspannung und Durchbruchsfeldstärke von parallelen Zylinderelektroden. A. f. E. Bd. 12, S. 593. 1923.

Dieterle, R.: Die Durchschlagsspannung fester Isolierstoffe. ETZ 1925, S. 329.

Gabler, H.: Über den Zusammenhang zwischen Strom und Spannung in festen Dielektrizis. A. f. E. Bd. 14, S. 406. 1925.

Zschaage, W.: Nachahmung des elektrischen Feldes von Leitungen im elektrolytischen Trog. ETZ 1925, S. 1215.

Lohaus, O.: Nachweis einer Polarisationserscheinung bei der Elektrizitätsleitung in dem doppeltbrechenden Nitrobenzol. Phys. Z. 1926, S. 217.

Blüh O.: Neuere Ergebnisse auf dem Gebiete der Dielektrizitätskonstanten. Phys. Z. 1926, S. 226. (Mit 172 Literaturausgaben seit 1912.)

Shrader, I. E.: Leitfähigkeit von Isolierstoffen in der Nähe ihrer Durchschlagsspannungen. Phys. Rev. Bd. 17, S. 234–50.

Schumann, W. O.: Über Versuche zur Natur des Durchschlages. Z. techn. Phys. 1925, S. 439.

Rogowsky, W.: Der Durchschlag fester Isolatoren. A. f. E. Bd. 13, S. 153. 1924.

Kármán, v.: Das thermisch-elektrische Gleichgewicht fester Isolatoren. A. f. E. Bd. 13, S. 174. 1924.

Berger, K.: Der Wärmedurchschlag fester Isolierstoffe. BBC-Mitt. 1926, S. 115.

Forster, A.: Über einige einfache Fälle von Bewegung unter der Wirkung

ıiller, H.: Über das Verhalten von Dielektriken bei hohen Feldstärken. Z. techn. Phys. Bd. 11, S. 588. 1925.
nther-Schulze, A.: Der Mechanismus der Glimmentladung. Z. techn. Phys. 1925, Heft 9, S. 446.
ırrum, Niels: Die Verdünnungswärme einer Ionenlösung in der Theorie von Debye und Hückel. Zugleich ein Beitrag zur Theorie der Wärmeeffekte in einem Dielektrikum. Z. Phys. Chem. Bd. 119, H. 3/4. 1926.
ık, H.: Über die Dielektrizitätskonstante von Elektrolytlösungen. Phys. Z. 1926, Nr. 7, S. 206.
ılhoff, G., u. M. Thomas: Über das elektrische Leitvermögen von Gläsern. Z. techn. Phys. Bd. 10, S. 544. 1925
rburg, E.: Über die Elektrolyse des festen Glases. Ann. Phys. Bd. 21, S. 622. 1884; Phys. Ber. Bd. 17, S. 193. 1884.
ıetmeier, W.: Über die elektrolytische Leitung des Glases und des Bergkristalls. Ann. Phys. Bd. 41, S. 18. 1890.
ani, M., u. H. Schönborn: Die Bestimmung der elektrischen Durchschlagsfestigkeit von Gläsern und keramischen Stoffen. Z. techn. Phys. Bd. 7a S. 351. 1925.
bronn, R.: Über die elektrische Leitfähigkeit von Natron-Kalk-Silikatgläsern. Ann. Phys. Bd. 58, S. 139. 1919.
ırer, H.: Ein Fortschritt in der Technik der Hochspannungskabel. Z. techn. Phys. Bd. 9, S. 472. 1925.
lebakin, V. S.: Über Messung von Kapazitäten mittelst Kathodenröhren. ETZ 1925, S. 923.
ıtenfeld, F. v.: Elektrizitätsleitung in Steinsalz und Kalkspat bei hohen Temperaturen. ETZ 1925, S. 344.
hron, Karl B. Mac: Photographische Aufnahmen von Hochspannungsentladungen. J. Am. Electr. Engs. Bd. 42, S. 1045. Ref. ETZ 1925, S. 354.
ıobi, G.: Das Dielektrikum im Lichte der neuen Atomvorstellung. ETZ 1924, S. 977.
icky, F.: Atomtheorie des festen Zustandes. ETZ 1925, S. 992.
ıantz, C.: Materialuntersuchungen mittelst Röntgenstrahlen. ETZ 1926, S. 414.
rger, I., u. E. Schmidt: Über die Dehnung von Einzelfasern und Haaren. Z. techn. Phys. Bd. 4, S. 124. 1925.
ıerialuntersuchungen mit Röntgenstrahlen. Mitt. Nr. 11 aus dem Arbeitsgebiet der Koch & Sterzel A.-G., Dresden. Mit 49 Literaturangaben.
ɔauer, C.: Kugeldruckprüfer für elektrische Isolierstoffe. Bayr. Landesgew.-Anstalt Nürnberg.
ədmann, G.: Die Röntgenstrahlen und ihre Anwendung. Dresdner Verbands-Mitt. 1925, S. 192.
yes, B.: Die Widerstandsänderung von Kohle und Graphit mit der Temperatur. Phys. Rev. Bd. 24, S. 190. Ref. ETZ 1926, S. 48.
ntschel, L.: Über das dielektrische Verhalten ölgetränkter Papiere. A. f. E. Bd. 15, S. 138. 1925.
ndrowsky, Hermann: Wasserdichtmachen von Papieren. Papier-Ztg. 1915, Nr. 23—31.
f. Möller: Die Unterscheidungsmerkmale und Verfahren zur Erkennung und Bestimmung der Rohstoffe in den Textilerzeugnissen. Verlag der Textilzeitschrift „Der Spinner und Weber."
rzog, R. O.: Fortschritte in der Erkenntnis der Faserstoffe. Z. angew. Chem. 1926, S. 297.
ɔanus, W.: Wege und Ziele auf dem Gebiete der elektrischen Isolierungsmaterialien. Kunststoffe Jg. 15, H. 11.
ltemann, A.: Faserstoffe der Elektrotechnik. Elektro-Journal 1924, S. 173.
bzow, U.: Über einige elektrische Eigenschaften verschiedener Zellulosepapiere. Kunststoffe 1924, S. 20.

rais, P.: Ein Apparat zur Bestimmung der Reißfestigkeit, Dehnung und Drehfestigkeit von Einzelfasern. Textile Forsch. 1921, H. 2, S. 86.

ɔue elektrische Fernfeuchtigkeitsmesser für die Textilindustrie. Melliands Textilber. Jg. 2, 19, 20 u. 21. 1921.

:eiberger, M.: Die Wechselwirkungen zwischen Behandlungsflüssigkeiten und Fasergebilden. Festschrift zur Textilausstellung 1924 in Dresden. Z. ges. Textilind.

alckreuth, R. v.: Die elektrischen Faserstoffe auf der Dresdner Textilausstellung. Elektro-Journal 1924, S. 176.

ıbrikation von Isolierteilen aus Lonarit. Ref. ETZ 1925, H. 14.

etzow, U.: Betrachtungen über die Wärmebeständigkeit einiger künstlicher Isolierstoffe. ETZ 1926, S. 409 u. 443.

enst, W.: Isolationen aus Kunstharz und Faserstoffen. El. Be. 1923, H. 16, S. 193.

emuth, W.: Hochspannungs-Isolationen aus Hartpapier. ETZ 1924, S. 646.

urbonit. ETZ 1923, S. 575.

chneider, R.: Neuzeitliche Prüfungsmethode für Hochspannungsmaterial. ETZ 1925, S. 1905.

:uhlmann, K.: Formgebung der Durchführungsisolatoren aus Hartpapier mit Metalleinlagen. Elektro-Journal 1924, S. 69.

ɫubler u. Humburg: Erfahrungen mit Erzeugnissen aus Kunstharz (Bakelite). BBC-Mitt. 1920, S. 229.

ɫaekeland, Dr. Leo, in Yonkers V. St. A.: Verfahren zur Herstellung von Kondensationsprodukten aus Phenolen und Formaldehyd. D.R.P. 233803.

ıcheiber, I.: Über natürliche und künstliche Harze. Z. angew. Chem. 1926, S. 545.

ɫannel, O.: Die elektrischen Eigenschaften des Bakelites. A.f.E. 1923, S. 497.

ɜphraim, J.: Die Doppelpatentierung in der Kunstharzindustrie. Kunststoffe 1922, Nr. 1.

ɜinfluß der Form der Funkenstrecke und der Temperatur auf die Durchschlagsspannung bei Ölprüfungen. Am. Soc. for Testing Materials, El. World Bd. 78, S. 729, 1921. Ref. ETZ 1921, S. 1518.

ɼriese, Rob. M.: Über die Durchschlagsfestigkeit von Isolierölen. Wiss. Veröffentl. aus dem Siemenskonzern Bd. 1, H. 2, S. 41. Ref. v. Oelschläger, ETZ 1922, S. 54.

Stern, G.: Transformatoren- und Schalteröle. ETZ 1922, S. 140. Hierzu: H. Schonger, ETZ 1922, S. 416; G. Stern, ETZ 1922, S. 416 u. 453; W. Hüter, ETZ 1922, S. 951.

Schröter, F.: Reinigung und Durchschlagsfestigkeit von Isolierölen. A.f.E. 1923, H. 1.

Späth, W.: Die Durchschlagseigenschaften von Transformatorenölen. A.f.E. Bd. 12, S. 33. 1923. Ref. ETZ 1923, S. 950.

Buck, Th.: Öl als Dielektrikum. El. Be. 1923, S. 195.

Engelhardt, V.: Messung der dielektrischen Festigkeit von Isolierölen. A.f.E. Bd. 13, S. 153.

Stäger, H.: Über das Verhalten von Transformatorenölen in der Wärme. ETZ 1923, S. 73.

Stickstoff-Öl-Transformator. Elektric. Journal 1923, S. 53. Ref. ETZ 1923, S. 525.

Pitman: Ölprüfung. El. World Bd. 82, S. 186. 1923. Ref. ETZ 1924, S. 164.

Heyden, v. d., u. Typke: Transformatorenöle. ETZ 1924, S. 931.

Schendell, G.: Die Dauerhaftigkeitsprüfung der Transformatorenöle. Ref. ETZ 1924, S. 1415.

;zow, U.: Zerstörung von Stromwandlerschienen aus Zink. Werkst.-Techn. 1924, S. 257. Ref. ETZ 1924, S. 727.
ɔknen von Transformatorenöl mittelst Zentrifugen. El. World Bd. 71, S. 473. 1921. Ref. ETZ 1922, S. 692.
.eudermaschine für Transformatorenöl. Ref. ETZ 1924, S. 376.
ader, J. E.: Wasserbestimmung in Transformatorenöl. El. World Bd. 79, S. 174. 1922. Ref. ETZ 1922, S. 929.
tel, H.: Verfahren zur Wasserbestimmung in Transformatorenölen. ETZ 1924, S. 189.
ner, St.: Eine neue Wasserbestimmungsmethode in Mineralölen. ETZ 1925, S. 1447.
:einrichtung für Transformatoren- und Schalteröle. El. Be. 1924, S. 237. ETZ (Frühjahrsmesse) 1925, S. 35.
andlung des Isolieröls. Ref. ETZ 1925, S. 25.
ıperaturevrhältnisse in ölisolierten Transformatoren. Ref. ETZ 1925, S. 929.
ız, B.: Kurzschlüsse an Ölschaltern in Amerika. J. Am. Electr. Engs. 1924 Maiheft. Ref. ETZ 1925, S. 930.
:es, L.: Verhütung der Verschmutzung von Transformatorenöl. El. World Bd. 85, S. 105. Ref. ETZ 1925, S. 391.
rden, v. d., u. Typke: Die Verteerungszahl von Transformatorenölen. ETZ 1925, S. 889.
— Über die Notwendigkeit einer Verschärfung der Prüfbedingungen für Transformatoren-, Schalter- und Turbinenöle. ETZ 1925, S. 1264.
— Die Behandlung mit Fullererde, eine einfache Methode zur Reinigung gebrauchter Öle. ETZ 1925, S. 1518.
— Raffinationsversuch auf Verteerungszahl an einem amerikanischen Spindelöl. ETZ 1925, S. 1734.
— Verteerungszahl. ETZ 1926, S. 480.
ger, H.: Über die Verteerungszahl und das Begutachten von Transformatoren- sowie Turbinenölen. BBC-Mitt. 1925, S. 131 u. 150.
Über Isolieröle. Z. angew. Chem. 1926, S. 308.
ım, G.: Erfahrungen betr. Untersuchungsmethoden von Transformatoren-, Schalter- und Turbinenölen. Z. angew. Chem. 1926, S. 473.
ner, St.: Über die Angreifbarkeit von Metallen durch Isolieröl-Harzmasse. Z. angew. Chem. 1926, S. 588.
tschritt im Bau von Ölreinigungsseparatoren. ETZ 1925, S. 1415.
nke, E.: Ölschalterdefekte durch Schlammablagerung und deren Meldung. ETZ 1926, S. 183.
nzösisches Pflichtenheft für die Lieferung von Lackdrähten, aufgestellt durch die „Union des Syndicaux de l'Éléctricité“. Rév. gén. éléctr. Bd. 17, S. 312. Ref. ETZ 1925, S. 1740.
stelski, A.: Über Kabelmuffenausgußmassen. Mitt. V. El.-Werke 1922, S. 190.
Sedlaczek: Über die Herstellung und Reinigung des Montanwachses. Kunststoffe 1924, S. 1.
nbaum, H. W.: Dielektrische Verluste in Kabeltränkmassen. ETZ 1924, S. 229.
taveren-Birnbaum, V.: Briefe an die Schriftleitung. ETZ 1924, S. 1227.
tzow, U.: Der Schwund der Ausgußmassen. El. u. M. 1923, H. 7. Ref. ETZ 1923, S. 816.
ickman, H. W. L. (Delft): Prüfung von Isoliermassen (Compounden). Rev. gén. éléctr. Bd. 14, S. 534. Ref. ETZ 1925, S. 3.
ıthetischer Schellack. Mitt. 3/4 d. Bayr. Landesgew.-Anstalt Nürnberg.
›terle, R.: Methoden und Apparate zur Ermittelung der Durchschlagsspannung von flüssigen und vergießbaren elektrischen Isolierstoffen. ETZ 1924, S. 513.

Cathala, J.: Prüfapparat für Emailledraht. Compt. Rend. Hebdom. Bd. 180, S. 380. 1925. Ref. ETZ 1925, S. 1558.
Sorge, A.: Über die elektrische Festigkeit einiger flüssiger Dielektrika. Ref. ETZ 1924, S. 503.
Schob, A., u. W. Reglin: Mechanisch-technologische Untersuchungen des Staatlichen Materialprüfungsamtes Berlin-Dahlem an Isolierlacken für die Elektrotechnik. ETZ 1926, S. 626.
Fonrobert, E.: Die Albertole. Kunststoffe 1923, Nr. 11 u. 12.
Bericht über die Arbeit des Ausschusses für Isolierlacke des Zentralverbandes der deutschen elektrotechnischen Industrie. ETZ 1925, S. 394.
Marcusson, I.: Die Polymerisation fetter Öle. Z. angew. Chem. 1926, S. 476. Vorher: 1925, S. 780 u. a.
Flight, S.: Die Untersuchung von Isolierlacken. El. Review Bd. 89, S. 771. 1921. Ref. ETZ 1922, S. 848.
Klein, M.: Emailledraht. 1923, S. 214.
Ein neuer Lackprüfapparat. ETZ 1923, S. 1312.
Scheiber, J.: Über Trocknung von Isolierlacken. Elektro-Journal 1923, S. 187.
Frydlender, H.: Die Verwendung der Cumaronharze in der Lackindustrie und zu anderen Zwecken. Kunststoffe 1922, S. 81.
Casselman, E. J.: Die Wirkung des Alters auf synthetische Harzschmelzprodukte der Phenolformaldehydgruppe. Chem. Age, Oct. 1923, S. 443. Kunststoffe 1924, S. 8.
Haas, F.: Bestimmung des Ortes erhöhten Widerstandes an Einfachleitungen mit großer Ableitung. A. f. E. Bd. 15, S. 44. 1925. Ref. ETZ 1925, S. 1492.
Bormann, Dr. Elisabeth, u. J. Seiler: Dielektrische Verlustmessungen an einem verlegten Hochspannungskabel. ETZ 1925, S. 114.
Del Mar u. Hanson: Hochspannungskabel mit getränkter Papierisolation. J. Am. Electr. Engs. Bd. 43, S. 950. Ref. ETZ 1925, S. 90.
Gurewitsch, P.: Neue Fortschritte in der Unterseekabel-Telegraphie. ETZ 1925, S. 304 u. ETZ 1925, S. 1924.
Droste, H. W.: Über die Spannung und Stromverteilung in von Starkstromleitungen induktiv beeinflußten pupinisierten Kabeladern. A. f. E. Bd. 14, S. 293. 1925. Ref. ETZ 1925, S. 311.
Brooklyn Edison Co.: Ungeklärte Erscheinung an Hochspannungskabeln. J. Am. Electr. Engs., Febr. 1925, S. 141. Ref. ETZ 1925, S. 424.
Dieterle, R., u. G. Eggeling: Vergleich von Drehstromkabeln verschiedener Ausführungsformen. ETZ 1924, S. 1366.
Cole, W. H.: Kabeldurchschläge in Hochspannungsnetzen. El. World Bd. 83, S. 1087. Ref. ETZ 1924, S. 1352.
Craemer, P., u. Müller, Ew.: Neue Versuche mit pupinisierten Fernsprechseekabeln. ETZ 1925, S. 1577.
130-kV-Kabel. Luigi Emanueli l'Energia Elettrica 1925. Ref. ETZ 1925, S. 1740.
Das 132-kV-Kabel in Neuyork. Ref. ETZ 1925, S. 1740.
Ein schwedisches Bahnfernsprechkabel. Ref. ETZ 1926, S. 88.
Müller, Hans: Das Aufbringen der Papierisolation auf Leiter von Starkstromkabeln. Eine werkstattechnische Untersuchung. ETZ 1926, S. 145.
A. E. G. Präzisions-Flechtmaschine mit 16, 24, 36 und 48 Spulen. ETZ 1926, H. 10.
Kabelverlegungswagen. ETZ 1926, S. 455.
Kabelmeßgerät für kombinierte Isolations- und Kapazitätsmessungen mit Gleichstrom. ETZ 1925, H. 31.
Die Korrosion von Bleikabeln durch Eichenholz. El. Review Bd. 90, S. 690. Ref. Jähn ETZ 1924, S. 562.
Haehnel, O.: Eine neue Art von Bleikabelkorrosion. Ref. ETZ 1925, S. 1489.
Die Korrosion von Bleimänteln. Ref. ETZ 1925, S. 897.

Die Prüfung von Hochspannungsbleikabeln mit imprägnierter Papierisolation. Transmission und Distribution Committee. J. Am. Electr. Engs. Bd. 42, S. 247. 1923 und Bd. 44, S. 150. 1925. Ref. ETZ 1925, S. 1780.

Brückman, H. W. L., u. A. C. Piyl: Einige merkwürdige dielektrische Versuche. ETZ 1926, S. 14.

Krämer, Herm.: Über die Beeinflussung der Durchschlagsfestigkeit von Hochspannungskabeln durch Ionisierung. Diss. Darmstadt. Ref. ETZ 1926, S. 85.

Meyer, Ulfilas: Die Eigenschaften von Krarupleitungen. ETZ 1925, S. 1033.

Wagner, K. W.: Ein wichtiger Fortschritt in der Seekabeltelegraphie. ETZ 1925, S. 1581.

Kock, F.: Hochspannungsisolatoren für Freileitungen. Leipzig: Hachmeister & Thal 1921.

Singer, F., u. E. Rosenthal: Die physikalischen Eigenschaften des Porzellans. Ber. Dt. Keram. Ges. Bd. 1, H. 3. 1920.

Rosenthal, E.: Hochspannungsisolatoren. Berlin: Julius Springer 1921.

Singer, F.: Die Probleme der Porzellanindustrie im Wechsel der Zeiten. Dingler, Festschrift 1920.

— Über die Temperaturbeständigkeit keramischer Massen. Ber. Dt. Keram. Ges. August 1923.

— Über die Zähigkeit keramischer Massen. Ber.Dt. Keram. Ges. 1921.

Binz, A.: Steinzeug und chemische Industrie. Z. angew. Chem. 1923, S. 285.

Singer, F.: Die Eigenschaften des Steinzeugs. Z. angew. Chem. 1923. S. 290.

— Steinzeug als Konstruktionsma
El. Journal 1924, S. 1.

Urban, E. Erwin: Steinzeug als Isolationsmaterial in der Elektrotechnik. Keram. Rundschau 1924, S. 229.

Bucksath, W.: Die Baustoffe der Freileitungsisolatoren und ihre Anwendung in den verschiedensten Konstruktionen. Steamag Nachr. 1924, H. 4/5.

Steatit. Keram. Rundschau 1924, S. 233.

Basalt als Isoliermittel für Hochspannung. Rev. gén. éléctr. Bd. 8, S. 451. 1921. Ref. ETZ 1922. S. 622.

Grünewald, F.: Über die Durchschlagsfestigkeit verschiedener Glimmersorten bei 50-periodigem Wechselstrom. ETZ 1924, S. 1084.

Rosenthal, E.: Die Lösung des Kittproblems im Isolatorenbau. ETZ 1924, S. 333. Dazu Hermsdorf-Schomburg Isolatoren G. m. b. H. ETZ 1924, S. 764.

— u. Luftschitz, H.: Die Lösung des Kittproblems im Isolatorenbau. Rosenthal-Mitt., H. 4.

Luftschitz, H.: Isolatorenkittung. Keram. Rundschau 1924, S. 226.

Gerold, E.: Über Zementkitte. El. Journal 1924, S. 304.

Rosenthal, E., u. H. Luftschitz: Neue Erkenntnisse über den Erhärtungsprozeß des Zements und deren Anwendung auf den Isolatorenbau. Mitt. V. E. W. 1924, S. 113.

Bültemann, A.: Permanitgekittete Isolatoren. ETZ 1924, H. 39. Dazu Hermsdorf-Schomburg Isolatoren G. m. b. H. ETZ 1924, S. 1454.

Luftschitz, H.: Die Lösung des Isolatoren-Kittproblems. Zement 1925, S. 293. El. Journal 1925, S. 136.

Hummel, A.: Über Volumenveränderungen, die Festigkeit und die Wasserdichtigkeit von Beton bei Verwendung von Portland-Zement und von hochwertigem Tonerde-Zement. Bauing. 1924, H. 5.

Dampfhärten von Zementwaren. Tonind.-Ztg. 1920, S. 804.

Untersuchung über Erhärtung nach Einwirkung niedriger Temperaturen. Zentralbl. Bauverw., April 1923. Ref. Zentralbl. 1923, S. 272.

Rüth, G.: Versuche über Verwertung hochwertigen Portlandzements in der Praxis. Beton und Eisen. 1924.
Schwaiger, A.: Über die Entladungsvorgänge auf Isolatoren. Rosenthal-Mitt., H. 6.
Bredow, Ing.: Die Prüfung von Hochspannungsisolatoren. Keram. Rundschau 1924, S. 222.
Demuth, W.: Die mechanisch-technische Werkstoffprüfung in der Porzellanfabrikation. ETZ 1922, H. 18 u. Mitt. Porzellanfabr. Hermsdorf-Schomburg G. m. b. H., H. 5.
Pfeiffer, R.: Neue Untersuchungsergebnisse bei der technisch-mechanischen Prüfung von elektrotechnischem Porzellan. ETZ 1925, S. 1391.
Die Isolatorenfrage der modernen drahtlosen Großstationen. Keram. Rundschau 1924, S. 232.
Pfeiffer, R.: Porositätsprüfung an technischem Porzellan. ETZ 1925, S. 1078.
Marx, E.: Erzeugung von verschiedenen Hochspannungsarten zu Versuchs- und Prüfzwecken. ETZ. 1925, S. 1298.
Dräger, K.: Über Verlustwinkel- und Kapazitätsmessungen an Porzellanisolatoren. ETZ 1925, S. 683. Rosenthal-Mitt., H. 7.
Fraser, W. A., u. H. W. M. Secord: Messung des durch einen Porzellanisolator fließenden Stroms. El. World Bd. 83, S. 282. Ref. ETZ 1924, S. 1251.
Marx, E.: Die Stromaufnahme von Hängeisolatoren und ihr Einfluß auf die Spannungsverteilung an Isolatorenketten. ETZ 1925, S. 81.
Bucksath, W.: Elektrische Stoßprüfung von Porzellanisolatoren. Rosenthal-Mitt., H. 2.
Reichau, K. H.: Beiträge zur besseren Kenntnis des Hochspannungsporzellans. Keram. Rundschau 1924, Nr. 38.
Urban, E. Erwin: Studien zur Herstellung von Elektroporzellan. Keram. Rundschau 1924, S. 217.
Rieke, R.: Die mikroskopische Prüfung keramischer Isoliermaterialien. El. Journal 1924, S. 71.
Gerold, E.: Über einige mechanische Eigenschaften von Porzellan. Keram. Rundschau 1924, S. 225.
— Einfluß des Glases auf einige physikalische Eigenschaften von Porzellan. Mitt. Hermsdorf-Schomburg Isolatoren G. m. b. H., H. 15. Ref. ETZ
Beham, C. F.: Betriebserfahrungen mit Hängeisolatoren. J. Am. Inst. El. Engs. Bd. 42, S. 1257. Ref. ETZ 1924, S. 959.
Lombardi, L.: Graphische Statistik über Isolatorenschäden. L'Ettrotecnica Bd. 9, Nr. 8, S. 172. Ref. ETZ 1923, S. 37.
Panton, H. D.: Versagen von Kettenisolatoren in Hochspannungsleitungen. J. Am. Inst. El. Engs. Bd. 44, S. 474. Ref. ETZ 1925, S. 1552.
Weicker, W.: Minderung der Kettenisolatoren durch gleichzeitige mechanische und elektrische Beanspruchung mit Wechselstrom und Spannungsstoß. ETZ 1926, S. 177.
Verbundisolator. Mitt. V. E. W. Bd. 6, S. 385. Ref. ETZ 1924, S. 691. ETZ 1925, H. 10.
Smith, H. B.: Ein neuer amerikanischer Hängeisolator. J. Am. Inst. El. Engs. Bd. 43, S. 689. Ref. ETZ 1925, S. 501.
Durchschlagsichere Stützisolatoren. ETZ 1926, H. 13.
Altmann, C.: Neue Vorschläge für die Isolierung von Vollbahn-Oberleitungen. ETZ 1924, S. 1022.
Regerbis, Dipl.-Ing.: Die Messung der Spannungsverteilung und des Feldlinienverlaufs an Isolatorenketten. ETZ 1925, S. 298.
Schwaiger, A., u. Rebhahn, J.: Die Glimmdurchführung. ETZ 1925, S. 729.
Bach, W.: Überführungs- und Trennisolatoren für Schwachstromleitungen. Siemens Z. 1925, S. 145. Ref. ETZ 1925, S. 851.

Isolierstoffe der Elektrotechnik. Vortragsreihe, veranstaltet ›n dem Elektrotechnischen Verein E. V. und der Technischen Hochschule, ərlin. Herausgegeben im Auftrag des Elektrotechnischen Vereins E. V. von rof. Dr. **H. Schering.** Mit 197 Abb. im Text. (396 S.) 1924. Geb. RM 16.—

Materialprüfung der Isolierstoffe der Elektrotechnik. erausgegeben von **Walter Demuth,** Oberingenieur, Vorstand des Mechan.- əchn. Laboratoriums der Porzellanfabrik Hermsdorf i. Th., unter Mitarbeit r Oberingenieure **Hermann Franz** und **Kurt Bergk.** Zweite, vermehrte ıd verbesserte Auflage. Mit 132 Abb. im Text. (262 S.) 1923. Geb. RM 12.—

:trische Festigkeitslehre. Von Prof. Dr.-Ing. **A. Schwaiger,** München. weite, vollständig umgearbeitete und erweiterte Auflage des „Lehrbuchs r elektrischen Festigkeit der Isoliermaterialien". Mit 448 Textabbildungen, Tafeln und 10 Tabellen. (482 S.) 1925. Gebunden RM 27.—

eilungen der Porzellanfabrik Ph. Rosenthal & Co. A.-G.

›ft 1: Neuere Forschungsergebnisse auf dem Gebiete der ängeisolatoren. Von Prof. Dr.-Ing. **A. Schwaiger,** München. Mit Textabbildungen. (28 S.) 1923. Vergriffen

›ft 2: Elektrische Stoßprüfung von Porzellan-Isolatoren ›n Dr.-Ing. **W. Bucksath.** Mit 53 Textabbildungen. (86 S.) 1924. RM 3.60

›ft 6: Über die Entladungsvorgänge auf Isolatoren. Von of. Dr.-Ing. **A. Schwaiger,** München. Mit 23 Textabbildungen. (23 S.) 25. RM 1.50

›ft 7: Über Verlustwinkel- und Kapazitätsmessungen an ›rzellan. Von Dr.-Ing. **K. Draeger,** Oberingenieur der Porzellanfabrik . Rosenthal & Co., A.-G., Selb in Bayern. Mit 22 Textabbildungen. (36 S.) 25. RM 2.10

›ft 8: Über Zerstörungs- und Alterungserscheinungen an Porllan-Isolatoren. Von Dr.-Ing. **K. Draeger,** Oberingenieur der Porzellan›rik Ph. Rosenthal & Co., A.-G., Selb in Bayern. Mit 16 Textabbildungen. Erscheint Ende Juni 1926

ft 3, 4 und 5 erschienen im Selbstverlag der Porzellanfabrik Rosenthal l sind von dort zu beziehen.

Porzellan-Isolatoren. Von Prof. Dr. **Gustav Benischke.** Zweite, veiterte Auflage. Mit 162 Abbildungen im Text. (116 S.) 1923. RM 4.80; gebunden RM 5.60

trische Durchbruchfeldstärke von Gasen. Theoretische undlagen und Anwendung. Von Prof. **W. O. Schumann,** Jena. Mit 80 xtabbildungen. VII, 246 Seiten. 1923. RM 7.20; gebunden RM 8.40

erte Leitungen und Kabel. Erläuterungen zu den Normen für lierte Leitungen in Starkstromanlagen, den Normen für isolierte Leiıgen in Fernmeldeanlagen, den Normen für umhüllte Leitungen und ı Kupfernormen. Im Auftrage des Verbandes Deutscher Elektrohniker herausgegeben von Dr. **Richard Apt.** Zweite Auflage. Mit Textabbildungen. (147 S.) 1924. RM 6.90

ıterungen zu den Vorschriften für die Konstruktion und Prüıg von Installationsmaterial, den Vorschriften für die Konstruktion und üfung von Schaltapparaten für Spannungen bis einschl. 750 V und den rmalien über die Abstufung von Stromstärken und über Anschlußbolzen.

